



TUGAS AKHIR - SS141501

**OPTIMASI KARAKTERISTIK KUALITAS *PORTLAND POZZOLAND CEMENT* MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN FUNGSI *DESIRABILITY* REGRESI *FUZZY* DI PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO), Tbk**

RUKMI FARIDA  
NRP 1313 100 106

Dosen Pembimbing  
Dra. Lucia Aridinanti, MT  
Dr. Muhammad Mashuri, MT

PROGRAM STUDI S1  
JURUSAN STATISTIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**OPTIMASI KARAKTERISTIK KUALITAS *PORTLAND POZZOLAND CEMENT* MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN FUNGSI *DESIRABILITY* REGRESI *FUZZY* DI PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO), Tbk**

**RUKMI FARIDA  
NRP 1313 100 106**

**Dosen Pembimbing  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T  
Dr. Muhammad Mashuri, M.T**

**PROGRAM STUDI S1  
JURUSAN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**OPTIMIZATION OF QUALITY CHARACTERISTICS  
PORTLAND POZZOLAND CEMENT IN THE TAGUCHI  
METHOD USING *DESIRABILITY* FUNCTION AND  
FUZZY REGRESSION IN PT. SEMEN INDONESIA  
(Persero), Tbk**

**RUKMI FARIDA  
NRP 1313 100 106**

**Supervisors  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T  
Dr. Muhammad Mashuri, M.T**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
FACULTY MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Surabaya 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**OPTIMASI KARAKTERISTIK KUALITAS PORTLAND  
POZZOLAND CEMENT MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN FUNGSI  
DESIRABILITY REGRESI FUZZY DI PT. SEMEN  
INDONESIA (PERSERO), Tbk**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada**

**Program Studi S-1 Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**RUKMI FARIDA  
NRP. 1313 100 106**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Dra. Lucia Aridinanti, M.T.  
NIP. 19610131 198701 2 001**

**Dr. Muhammad Mashuri, M.T.  
NIP. 19620408 198701 1 001**

()  
()

**Mengetahui  
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**

**Dr. Suhartono**

**NIP. 19710929 199512 1 001**

**SURABAYA, JANUARI 2017**



**OPTIMASI KARAKTERISTIK KUALITAS *PORTLAND*  
*POZZOLAND CEMENT* MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI DENGAN PENDEKATAN FUNGSI  
*DESIRABILITY* REGRESI *FUZZY* DI PT. SEMEN  
INDONESIA (PERSERO), Tbk**

**Nama Mahasiswa** : Rukmi Farida  
**NRP** : 1313 100 106  
**Jurusan** : Statistika FMIPA ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dra. Lucia Aridinanti, MT  
Dr. Muhammad Mashuri, MT

**Abstrak**

*PT.Semen Indonesia (Persero), Tbk* adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri khususnya yaitu industri semen, yang merupakan salah satu perusahaan penghasil semen terbesar di Indonesia. Oleh karenanya penting bagi perusahaan untuk menghasilkan produk barang dan jasa yang bermutu tinggi agar dapat bersaing dan memiliki prospek keberhasilan jangka panjangnya. Dalam penelitian ini komposisi yang akan dianalisis menggunakan metode taguchi yaitu kadar  $SO_3$ , kadar insoluble, dan kadar LOI. Ketiganya merupakan bahan indikator pengukuran baku penyusun semen tipe PPC (*Portland Pozzoland Cement*). Ketiga bahan baku tersebut akan mempengaruhi karakteristik kualitas semen yaitu setting time (waktu pengikatan) dan kuat tekan semen. Dalam penelitian ini, dilakukan optimasi metode Taguchi dengan pendekatan fungsi *desirability* regresi fuzzy pada kasus kuat tekan dan setting time semen PPC. Hasil yang didapatkan yaitu model upper merupakan model yang terbaik karena mampu menghasilkan respon yang memenuhi spesifikasi perusahaan dan memenuhi sifat karakteristik kualitas semen PPC. Yaitu kuat tekan semen 28 hari sebesar  $405,23 \text{ kg/cm}^2$  dan setting time awal sebesar 233 menit. Nilai prediksi tersebut didapatkan dengan campuran kadar  $SO_3$  sebesar 0,245% - 0,2871%, kadar insoluble sebesar 16,16% - 29,64%, dan kadar LOI sebesar 1,38% - 1,90%.

**Kata Kunci** : Fungsi *desirability*, Kuat Tekan 28 Hari, metode Taguchi, Regresi Fuzzy, Setting Time Awal

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

**OPTIMIZATION OF QUALITY CHARACTERISTICS  
PORTLAND POZZOLAND CEMENT IN THE TAGUCHI  
METHOD USING *DESIRABILITY* FUNCTION AND  
FUZZY REGRESSION IN PT. SEMEN INDONESIA  
(Persero), Tbk**

**Name of Student** : Rukmi Farida  
**NRP** : 1313 100 106  
**Department** : Statistics FMIPA ITS  
**Supervisors** : Dra. Lucia Aridinanti, MT  
Dr. Muhammad Mashuri, MT

**Abstract**

*Semen Indonesia (Persero), Tbk is an industrial company, in particular cement industry, which is one of the largest cement producer in Indonesia. Therefore, it is important for companies to produce goods and services of good quality in order to compete, and have prospects for long-term success. In this study the composition analyzed using the Taguchi method is levels of SO<sub>3</sub>, levels of insoluble and levels of LOI. The third ingredient is an indicator of the type of cement constituent raw measurement PPC (Portland Pozzoland Cement). Third raw materials will affect semen quality characteristics, such as setting time (bonding time) and compressive strength of cement. In this study, the optimization process will be conducted with the Taguchi method regression fuzzy desirability function approach, in the case of compressive strength and setting time of cement PPC. The result is upper models is the best model because it is able to produce an appropriate response specifications of the company and the appropriate nature of PPC cement quality characteristics. That is, the 28 day compressive strength of cement amounted to 405.23 kg / cm<sup>2</sup> and the initial setting time of 233 minutes. The predictive value obtained with a mixture of SO<sub>3</sub> levels of 0.245% - 0.2871%, levels of insoluble by 16.16% - 29.64% and LOI levels of 1.38% - 1.90% of SO<sub>3</sub> levels of 0.245% - 0.2871%, levels of insoluble by 16.16% - 29.64% and LOI levels of 1.38% - 1.90%.*

**Keywords:** *Compressive Strength 28 Days, Function desirability, Fuzzy Regression, Setting Time Initial, Taguchi method*

( *Halaman ini sengaja dikosongkan* )



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Optimasi Karakteristik Kualitas Portland Pozzoland Cement Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan Fungsi Desirability Regresi Fuzzy di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk**”. Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar karena tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M.T dan Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan dukungan yang sangat besar bagi penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dra. Destri Susilaningrum, M.Si dan Ibu Dra. Wiwiek Setya Winahju, M.S selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Jurusan Statistika ITS yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Sutikno, S.Si, M.Si selaku Ketua Program Studi Sarjana dan Ibu Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Sarjana yang telah membimbing dan memotivasi penulis selama menjadi mahasiswa.
5. Ibu Erma Oktania Permatasari, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan nasehat dan saran perkuliahan kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan.
6. Ibu Ir. Sri Pingit Wulandari, M.Si yang telah memberikan ilmu dan motivasi kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Seluruh dosen Jurusan Statistika ITS yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan, beserta seluruh karyawan Jurusan Statistika ITS yang telah membantu kelancaran dan kemudahan dalam pelaksanaan kegiatan perkuliahan.
  8. Ayah tercinta Bambang Triaji W dan Ibu tersayang Wartini atas doa, kasih sayang, dukungan, semangat dan segalanya yang telah diberikan untuk penulis sehingga menjadi mudah dan dilancarkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
  9. Teman-teman S1 Jurusan Statistika ITS Angkatan 2013 yang telah bekerja sama dengan baik selama penulis menempuh pendidikan, serta memberikan pengalaman dan kenangan yang berharga bagi penulis.
  10. Teman-teman GnG yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini serta menghibur penulis dimanapun mereka berada.
  11. Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMASTA-ITS 15/16 yang telah memberikan suatu warna berbeda kepada penulis selama menempuh perkuliahan di Jurusan Statistika ITS.
  12. Keluarga  $\Sigma 24$  yang telah menjadi keluarga semenjak penulis menempuh pendidikan di Jurusan Statistika ITS.
  13. Semua pihak yang telah memberikan dukungan yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.
- Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar berguna untuk perbaikan berikutnya.

Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE PAGE</b> .....	iii
<b>LEMBAR PEGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II TINJAUAN MASALAH</b>	
2.1 Metode Taguchi .....	7
2.1.1 <i>Orthogonal Array</i> .....	7
2.1.2 <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR).....	9
2.2 Regresi <i>Fuzzy</i> .....	10
2.2.1 Estimasi Parameter Model Regresi .....	10
2.2.2 Pengujian Signifikansi Parameter .....	11
2.2.3 Pengujian Asumsi Residual .....	13
2.3 Fungsi <i>Desirability</i> .....	14
2.4 Langkah Optimasi Multirespon Metode Taguchi .....	15
2.5 Proses Pembuatan Semen .....	18
2.6 <i>Portland Pozzoland Cement</i> (PPC).....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Variabel Penelitian.....	21
3.2 Rancangan Percobaan .....	22
3.3 Langkah Analisis .....	24

<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Penentuan Level Optimal.....	27
4.2 Pembentukan Model Regresi.....	29
4.2.1 Model Regresi Kuat Tekan 28 Hari .....	30
4.2.2 Model Regresi <i>Setting Time</i> Awal .....	34
4.3 Penentuan Level Optimal dengan Fungsi <i>Desirability</i> dan Regresi <i>Fuzzy</i> .....	38
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	51
<b>LAMPIRAN</b> .....	53

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses Pembuatan Semen di PT. Semen Indonesia, Tbk .....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	26
Gambar 4.1 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{11}$ .....	33
Gambar 4.2 Probabilitas <i>Plot</i> Residual untuk Respon $\eta_{11}$ .....	34
Gambar 4.3 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{21}$ .....	37
Gambar 4.4 Probabilitas <i>Plot</i> Residual untuk Respon $\eta_{21}$ .....	38

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Orthogonal Array</i> .....	8
Tabel 2.2    Matriks <i>Pay-off</i> untuk Nilai Respon .....	16
Tabel 2.3    Matriks <i>Pay-off</i> untuk Nilai <i>Desirability</i> .....	16
Tabel 2.4    Matriks <i>Pay-off</i> untuk Nilai Fungsi Deviasi.....	17
Tabel 3.1    Variabel Penelitian .....	22
Tabel 3.2    Variabel Proses atau Faktor Penelitian.....	23
Tabel 3.3    Eksperimen dengan Tiga Kali Perulangan .....	24
Tabel 4.1    Rata-rata SNR Kuat Tekan 28 Hari Masing-masing Level Faktor .....	28
Tabel 4.2    Rata-rata SNR <i>Setting Time</i> Awal Masing-masing Level Faktor .....	29
Tabel 4.3    Estimasi Parameter Model Regresi Respon $\eta_1$ ..	30
Tabel 4.4    Uji Signifikansi Parameter Model Regresi Respon $\eta_1$ .....	31
Tabel 4.5    Hasil Uji <i>Glejser</i> Respon $\eta_{11}$ .....	32
Tabel 4.6    Estimasi Parameter Model Regresi Respon $\eta_2$ ..	35
Tabel 4.7    Uji Signifikansi Parameter Model Regresi Respon $\eta_2$ .....	36
Tabel 4.8    Hasil Uji <i>Glejser</i> Model Regresi $\eta_{21}$ .....	37
Tabel 4.9    Koefisien Parameter Regresi Respon Kuat Tekan 28 Hari .....	38
Tabel 4.10   Estimasi Parameter Regresi <i>Fuzzy</i> pada Respon Kuat Tekan 28 Hari .....	39
Tabel 4.11   Koefisien Parameter Regresi Respon <i>Setting Time</i> Awal .....	39
Tabel 4.12   Estimasi Parameter Regresi <i>Fuzzy</i> pada Respon <i>Setting Time</i> Awal.....	40
Tabel 4.13   Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum Respon Kuat Tekan 28 Hari .....	40
Tabel 4.14   Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum Respon <i>Setting Time</i> Awal .....	41
Tabel 4.15   Matriks <i>Pay-off</i> untuk Nilai Prediksi Respon ...	43

Tabel 4.16	Matriks <i>Pay-off</i> untuk Nilai <i>Desirability</i> Prediksi Respon .....	44
Tabel 4.17	Matriks <i>Pay-off</i> untuk Nilai Deviasi .....	44
Tabel 4.18	Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum Model <i>Lower</i> .....	47
Tabel 4.19	Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum Model <i>Mean</i> .....	47
Tabel 4.20	Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum Model <i>Upper</i> .....	48
Tabel 4.21	Perbandingan Level Faktor Optimum.....	49



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b>	Hasil Eksperimen dengan <i>Orthogonal Array</i> 53
<b>Lampiran 2</b>	Nilai SNR <i>Ratio</i> Respon Kuat Tekan 28 Hari..... 54
<b>Lampiran 3</b>	Nilai SNR <i>Ratio</i> Respon <i>Setting Time</i> Awal 55
<b>Lampiran 4</b>	Alternatif Model Regresi Kuat Tekan $\eta_{11}$ .... 56
<b>Lampiran 5</b>	Alternatif Model Regresi Kuat Tekan $\eta_{12}$ ... 58
<b>Lampiran 6</b>	Alternatif Model Regresi Kuat Tekan $\eta_{13}$ ... 60
<b>Lampiran 7</b>	<i>Output</i> Uji <i>Glejser</i> Residual Model Kuat Tekan 28 Hari ..... 62
<b>Lampiran 8</b>	<i>Output Autocorrelation Function</i> Residual Model Kuat Tekan 28 Hari ..... 63
<b>Lampiran 9</b>	<i>Output</i> Pengujian Distribusi Normal Residual Respon Kuat Tekan 28 Hari ..... 65
<b>Lampiran 10</b>	Alternatif Model Regresi <i>Setting Time</i> Awal $\eta_{21}$ ..... 67
<b>Lampiran 11</b>	Alternatif Model Regresi <i>Setting Time</i> Awal $\eta_{22}$ ..... 69
<b>Lampiran 12</b>	Alternatif Model Regresi <i>Setting Time</i> Awal $\eta_{23}$ ..... 71
<b>Lampiran 13</b>	<i>Output</i> Uji <i>Glejser</i> Model <i>Setting Time</i> Awal ..... 73
<b>Lampiran 14</b>	<i>Output Autocorrelation Function</i> Residual Model <i>Setting Time</i> Awal ..... 74
<b>Lampiran 15</b>	<i>Output</i> Pengujian Distribusi Normal Residual Model <i>Setting Time</i> Awal..... 76
<b>Lampiran 16</b>	<i>Output Linier Programming</i> ..... 78
<b>Lampiran 17</b>	Surat Pengambilan Data Perusahaan di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk ..... 79

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya pembangunan di Indonesia, peranan dunia industri turut serta mengalami perkembangan yang pesat. Kemampuan perusahaan dalam menghasilkan produk dengan kualitas tinggi merupakan salah satu hal yang dapat mendukung keberhasilan jangka panjang perusahaan tersebut. Kualitas menjadi tolak ukur seorang konsumen dalam membeli suatu produk dan kemudian mempercayai untuk tetap memakai produk tersebut. Strategi yang dapat dilakukan untuk dapat mempertahankan kualitas produk dari suatu perusahaan yaitu selalu menjaga dan melakukan peningkatan pada kualitas produk tersebut.

PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri khususnya yaitu industri semen yang merupakan salah satu perusahaan penghasil semen terbesar di Indonesia. Pada tahun 2014, kapasitas semen yang dihasilkan mencapai angka 31,8 juta ton per tahun. Hal ini tidak lepas dari anak perusahaan yang memainkan peranan penting sebagai *strategic partner*, maupun sebagai pendukung *community development*. PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk memiliki empat anak perusahaan yaitu PT. Semen Padang yang memiliki kapasitas produksi sebesar 6 juta ton per tahun, PT. Semen Tonasa dengan kapasitas produksi 6,7 juta ton per tahun, Thang Long Cement dengan kapasitas produksi 2,3 juta ton per tahun, dan PT. Semen Gresik 8,5 juta ton per tahun. Salah satu jenis semen yang diproduksi oleh PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk adalah *Portland Pozzoland Cement* (PPC). Komposisi bahan baku semen PPC adalah terak (*clinker*), *gypsum*, dan zat tambahan yang terdiri dari batu kapur (*lime stone*), abu terbang (*fly ash*), dan *trass*. PPC merupakan jenis semen yang memiliki *setting time* (waktu pengikatan) yang relatif lama. *Setting Time* merupakan waktu ikat semen yang dibutuhkan semen sejak semen bercampur dengan air

sampai mengeras. *Setting time* merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan bangunan. Karena apabila semen yang digunakan lebih cepat mengeras, maka hal tersebut akan menghambat proses pembangunan. *Setting time* sesuai ketentuan SNI yaitu minimal 45 menit, sedangkan waktu maksimal yaitu 360 menit.

*Setting time* merupakan tolok ukur kualitas semen PPC. Tolok ukur kualitas semen yang lain yaitu kuat tekan semen. SNI menetapkan bahwa kualitas semen yang baik yaitu apabila semen memiliki kuat tekan 3 hari sebesar  $125 \text{ kg/cm}^2$ , kuat tekan 7 hari sebesar  $200 \text{ kg/cm}^2$ , dan kuat tekan 28 hari sebesar  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai *setting time* maupun kuat tekan pada semen diperoleh berdasarkan komposisi-komposisi penyusun semen yang berbeda-beda setiap proses pengolahannya. Proses produksi PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk selama ini menggunakan campuran bahan baku dengan rata-rata kadar  $\text{SO}_3$  sebesar 1,82%, kadar *Insoluble* sebesar 11,52%, dan kadar LOI sebesar 3,40%. Kedua karakteristik kualitas semen tersebut dianggap penting karena berhubungan langsung dengan ketahanan semen ketika digunakan sebagai campuran dalam bahan bangunan. Oleh karena itu diperlukan komposisi yang optimum dari bahan penyusun semen agar didapatkan kuat tekan dan *setting time* yang terbaik. Pada proses produksi semen di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk, perusahaan menggunakan sistem *trial and error* untuk mendapatkan komposisi dalam mengoptimalkan respon. Dengan menggunakan sistem *trial and error* yang selama ini ditetapkan perusahaan menyebabkan terdapat banyak data yang *out of control* atau tidak berada di dalam batas SNI. Oleh karena itu dalam hal ini bagian Jaminan Mutu perusahaan menghimbau agar dilakukan optimasi terhadap komposisi bahan-bahan utama penyusun semen.

Nugraha (2015) melakukan penelitian mengenai optimasi kuat tekan dan waktu pengikatan semen menggunakan metode *mixture design*. Metode tersebut menghasilkan model dimana hanya salah satu model saja yang signifikan yaitu model dengan

*final setting time* sebagai responnya. Berdasarkan nilai *desirability* didapatkan nilai optimum untuk *final setting time* sebesar 276,39 menit dengan komposisi batu kapur sebesar 7,4%, trass sebesar 16,55%, dan *gypsum* sebesar 4,5%.

Damaris (2011) melakukan penelitian mengenai optimasi kuat tekan dan daya serap air pada batako dengan menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan *total loss function*. Selanjutnya Murniati (2015) melakukan penelitian menggunakan optimasi Taguchi melalui pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy* pada kasus yang sama dengan penelitian Damaris (2011) yaitu kuat tekan dan daya serap air pada batako. Hasil yang didapatkan oleh penelitian Damaris menunjukkan level optimum pada faktor air semen (FAS) sebesar 0,4, *bottom ash* sebesar 5 bagian, dan agregat halus sebesar 2 bagian. Level-level yang didapatkan dari metode Taguchi *total loss function* kemudian disubstitusikan ke dalam model a, b, dan c pada model penelitian Murniati (2015) untuk selanjutnya didapatkan nilai *desirability* global yang digunakan untuk membandingkan kedua metode tersebut. Level optimum penelitian Damaris (2011) menghasilkan nilai *desirability* untuk 3 model, yaitu model a sebesar 0,90; untuk model b sebesar 0,87; dan untuk model c sebesar 0,85. Secara umum metode taguchi dengan pendekatan *desirability* regresi *fuzzy* mempunyai nilai *desirability* global yang lebih tinggi yaitu untuk model a sebesar 0,91; untuk model b sebesar 0,95; dan untuk model c sebesar 0,76. Sehingga diantara kedua metode tersebut metode taguchi dengan pendekatan *desirability* regresi *fuzzy* merupakan metode yang lebih baik.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan optimasi metode Taguchi dengan pendekatan fungsi *desirability* dan regresi *fuzzy* didasarkan pada penelitian sebelumnya, dimana dengan menggunakan metode ini ketika diterapkan pada kasus kuat tekan dan daya serap air pada batako, didapatkan hasil yang lebih optimal dibandingkan metode Taguchi *Total Loss Function*. Diharapkan dengan menggunakan metode ini, yang diterapkan pada kasus karakteristik kualitas semen PPC, akan didapatkan nilai kuat

tekan dan *setting time* khususnya *setting time* awal yang lebih optimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Selama ini PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk menggunakan campuran bahan baku dengan rata-rata kadar  $\text{SO}_3$  sebesar 1,82%, kadar *Insoluble* sebesar 11,52%, dan kadar LOI sebesar 3,40%. Komposisi ini diharapkan mendapatkan respon karakteristik kualitas semen yang diinginkan yaitu waktu pengikatan akhir dan kuat tekan yang optimum atau berada dalam batas SNI, namun seringkali masih terdapat hasil yang berada diluar batas SNI atau batas yang ditetapkan perusahaan. Sehingga diinginkan optimasi secara statistik dengan harapan didapatkan komposisi bahan baku yang menghasilkan respon yang lebih optimal. Berdasarkan penelitian sebelumnya, dimana dengan menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan fungsi *desirability* regresi *fuzzy* didapatkan komposisi yang lebih optimal dibandingkan dengan metode Taguchi *total loss function*, maka dalam penelitian ini akan dibahas mengenai *setting* faktor bahan baku kadar LOI, kadar *insoluble*, dan kadar  $\text{SO}_3$  dalam proses pembuatan semen PPC menggunakan metode tersebut. Rumusan masalah berdasarkan penjabaran tersebut yaitu bagaimana *setting* faktor kadar  $\text{SO}_3$ , kadar *Insoluble*, dan kadar LOI dalam proses pembuatan semen PPC untuk mengoptimalkan kuat tekan 28 hari dan *setting time* awal semen PPC menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan fungsi *desirability* regresi *fuzzy* ?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian adalah untuk menentukan *setting* level faktor yang optimal meliputi kadar  $\text{SO}_3$ , kadar *insoluble*, dan kadar LOI untuk mengoptimalkan *setting time* awal dan kuat tekan 28 hari pada semen PPC melalui pendekatan fungsi *desirability* regresi *fuzzy*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini antara lain bagi perusahaan PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk yaitu untuk mengetahui *setting* level faktor indikator pengukuran bahan baku antara lain  $\text{SO}_3$ , *insoluble*, dan LOI yang dapat mengoptimalkan karakteristik kualitas semen sebagai bahan pertimbangan perusahaan dalam pembuatan semen khususnya semen tipe PPC.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini batasan masalah yang digunakan yaitu sebagai berikut.

1. Semen yang digunakan dalam penelitian yaitu semen tipe PPC.
2. Respon yang digunakan adalah waktu pengikatan awal dan kuat tekan 28 hari
3. Tidak dilakukan randomisasi pada data pengamatan namun disesuaikan dengan level pada rancangan penelitian.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Metode Taguchi**

Metode Taguchi pertama kali diperkenalkan oleh seorang Teknisi Jepang yaitu Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1980-an yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya. Metode Taguchi merupakan metode yang mengurangi variasi dalam proses melalui desain eksperimen yang kokoh (*robust*) atau tidak terpengaruh oleh variabel *noise* (variabel yang tidak terkendali). Pendekatan metode ini didasarkan pada klasifikasi variabel dalam proses maupun produk menjadi variabel terkendali atau variabel *noise* kemudian mencari pengaturan variabel terkendali yang memperkecil variabilitas dari variabel tak terkendali yang berpengaruh pada respon. Sasaran metode Taguchi yaitu mengoptimalkan fungsi tujuan yang berubah-ubah dan mengurangi sensitivitas terhadap faktor yang tak terkendali (Sunaryo, 2012).

Penggunaan metode Taguchi didasarkan pada dua komponen utama yaitu *Orthogonal Array* dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk mendapatkan informasi sebanyak mungkin dengan percobaan yang minimal (Park, 1995). *Orthogonal Array* merupakan matriks yang elemen baris dan kolomnya saling *orthogonal*. Elemen kolom merupakan faktor dan elemen baris mewakili level pada faktor dari percobaan yang dilakukan.

##### **2.1.1 Orthogonal Array**

Proses desain eksperimen dimulai dari memilih *orthogonal array* yang sesuai, menempatkan faktor pada kolom yang sesuai, dan menentukan kondisi untuk setiap *trial* percobaan. *Orthogonal array* digunakan untuk menganalisis data eksperimen dan merancang eksperimen yang efisien sehingga dapat menentukan jumlah eksperimen minimal namun dapat memberikan informasi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi parameter. Pemilihan kombinasi level dari variabel-variabel input pada masing-masing eksperimen merupakan hal penting dalam membuat *orthogonal*

*array*. Pemilihan jenis *orthogonal array* yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total (Park, 1995). Penentuan derajat bebas didasarkan pada beberapa hal berikut.

1. Banyaknya variabel proses (faktor kendali) dan faktor interaksi antar faktor yang diamati
2. Jumlah level dari faktor yang diamati.

*Orthogonal array* yang dipilih harus memiliki jumlah baris minimal yang sama dengan derajat bebas yang didapat. Berikut merupakan notasi untuk *orthogonal array*.

$$L_n(l^f) \quad (2.1)$$

dimana :

$f$  : banyaknya faktor (kolom)

$l$  : banyaknya level

$n$  : banyaknya pengamatan (baris)

$L$  : rancangan bujur sangkar latin

*Orthogonal array* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu  $L_9(3^4)$  dengan rancangan sebagai berikut, dimana kolom pada Tabel 2.1 menunjukkan banyaknya faktor dan baris menunjukkan banyaknya pengamatan.

<b>Tabel 2.1 Orthogonal Array</b>				
<b>Eksperimen</b>	<b>Coloumn Number</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	0	0	0
3	-1	1	1	1
4	0	-1	0	1
5	0	0	1	-1
6	0	1	-1	0
7	1	-1	1	0
8	1	0	-1	1
9	1	1	0	-1

Tabel 2.1 di atas merupakan rancangan yang digunakan apabila terdapat 3 level pada masing-masing faktor. Dimana angka -1 menunjukkan level minimum, angka 0 menunjukkan level tengah,

dan angka 1 menunjukkan level maksimal. Hasil eksperimen pada metode Taguchi kemudian ditransformasikan ke dalam *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk mengukur deviasi karakteristik kualitas dari nilai yang diharapkan.

### 2.1.2 *Signal to Noise Ratio* (SNR)

*Signal to Noise Ratio* (SNR) digunakan sebagai ukuran untuk memilih faktor-faktor dengan karakteristik kualitas suatu respon (Park, 1995). *Signal to Noise Ratio* merupakan komponen penting dalam suatu desain parameter. Dengan menerapkan konsep eksperimen ini, maka dapat ditentukan pengaturan faktor control yang dapat menghasilkan performa terbaik dalam proses atau produk dan meminimalkan pengaruh dari faktor yang tidak dapat dikendalikan (Peace, 1993). Terdapat tiga kategori karakteristik kualitas berdasarkan metode dalam perhitungannya, yaitu *smaller the better response*, *larger the better response*, dan *nominal the best response*.

#### 1. *Smaller the Better Response*

Karakteristik *smaller the better response* merupakan karakteristik kualitas dengan batas nol dan non negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. SNR untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$SNR_{stb} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i)^2 \right] \quad (2.2)$$

#### 2. *Larger the Better Response*

Karakteristik *larger the better response* merupakan karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. SNR untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$SNR_{ltb} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{y_i} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

### 3. *Nominal the Best Response*

Karakteristik *nominal the best response* merupakan karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. SNR untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$SNR_{ntb} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \right] \quad (2.4)$$

dimana  $m$  = nilai target spesifikasi

## 2.2 Regresi Fuzzy

SNR (*Signal to Noise Ratio*) merupakan respon dalam model regresi metode Taguchi. Nilai ini didapatkan dari transformasi variabel respon menggunakan persamaan *Signal to Noise Ratio* berdasarkan karakteristik kualitas yang sesuai. Nilai SNR dilambangkan dengan  $\eta_{jr}$  dimana  $r$  merupakan pengulangan dari respon  $j$ . Model regresi untuk kombinasi level faktor menggunakan nilai  $\eta_{jr}$  adalah sebagai berikut.

$$\eta_{jr} = f(x_1, x_2, \dots, x_f) \quad (2.5)$$

Dalam pembentukan model regresi konvensional diperlukan proses estimasi parameter, pengujian signifikansi parameter model dan asumsi identik, independen dan berdistribusi normal atau asumsi IIDN  $(0, \sigma^2)$  pada residual (Montgomery, 2001).

### 2.2.1 Estimasi Parameter Model Regresi

Model yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen adalah model linier dan model orde kedua. Model linier ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\eta_{jr} = \beta_{0r} + \sum_{k=1}^f \beta_{kr} x_k + \varepsilon \quad (2.6)$$

Sedangkan persamaan model orde kedua ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\eta_{jr} = \beta_{0r} + \sum_{k=1}^f \beta_{kr} x_k + \sum_{k=1}^f \beta_{kk} x_k^2 + \sum_{g < k} \sum \beta_{kg} x_k x_g + \varepsilon \quad (2.7)$$

dimana

$r = 1, 2, \dots, f$

$x_k$ ,  $x_k^2$ , dan  $x_k x_g$  merupakan faktor independen dan  $\beta_k$ ,  $\beta_{kg}$ , dan  $\beta_{kk}$  adalah *crisp value*, dan  $\varepsilon$  merupakan variabel random error dalam nilai respon. Kemudian menentukan model paling sesuai untuk memodelkan hubungan antara SNR untuk respon  $j$  dan faktor proses. Metode *Ordinary Least Square* (OLS) digunakan untuk menaksir parameter regresi agar *Sum Square Error* kecil. Estimasi parameter ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\hat{\beta} = b = (X^T X)^{-1} X^T \eta \quad (2.8)$$

dimana,

$b$  = vektor taksiran koefisien regresi berukuran  $m \times 1$

$X$  = matrik level dari variabel prediktor berukuran  $m \times n$

$\eta$  = vektor respon berukuran  $n \times 1$

### 2.2.2 Pengujian Signifikansi Parameter

Pengujian signifikansi parameter dapat dilakukan secara keseluruhan melalui uji serentak atau uji parameter regresi secara individu melalui uji individu. Uji signifikansi model secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui apakah variabel prediktor yang digunakan dalam model memberikan pengaruh. Berikut ini hipotesis yang digunakan dalam uji serentak.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_f = 0$$

$$H_1: \text{Minimal salah satu } \beta_k \neq 0, k = 1, 2, \dots, f$$

Statistik Uji :

$$F_{hitung} = \frac{MS_{regresi}}{MS_{residual}} = \frac{(\sum_{i=1}^n (\hat{\eta}_{jri} - \bar{\eta}_{jr})^2) / f}{(\sum_{i=1}^n (\eta_{jri} - \hat{\eta}_{jri})^2) / (n - f - 1)} \quad (2.9)$$

Jika ditetapkan tingkat signifikansi  $\alpha$ , maka tolak  $H_0$  jika  $F_{hitung} > F_{\alpha(f-1, n-f)}$ .

Uji individu dilakukan dengan pengujian parameter secara parsial untuk melihat signifikansi setiap parameter terhadap model tersebut (Montgomery, 2001). Berikut ini hipotesis yang digunakan dalam uji individu.

$$H_0: \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_k \neq 0, k = 1, 2, \dots, f$$

Statistik Uji :

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_k}{se(\hat{\beta}_k)} \quad (2.10)$$

Jika ditetapkan tingkat signifikansi  $\alpha$ , maka tolak  $H_0$  jika  $|t_{hitung}| > t_{(n-f, \alpha/2)}$  dengan  $f$  merupakan jumlah parameter regresi dan  $n$  merupakan banyak pengamatan.

### 2.2.3 Pengujian Asumsi Residual

Dalam melakukan pengujian asumsi residual dari model regresi maka harus memenuhi asumsi yakni asumsi identik, independen dan berdistribusi normal (Gujarati, 2006). Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing pengujian.

Asumsi identik merupakan salah satu asumsi residual yang penting dari model regresi. *Varians* residual harus bersifat homokedastisitas atau *varians* residual bersifat identik dimana tidak membentuk pola tertentu. Dalam penelitian ini digunakan uji *glejser* untuk menguji asumsi residual identik dengan cara meregresikan harga mutlak residual dengan variabel prediktor. Apabila terdapat variabel prediktor yang signifikan, maka variabel residual cenderung tidak homogen.

Pengujian asumsi independen digunakan untuk mengetahui apakah terdapat korelasi antar residual atau tidak. Secara visual dapat terlihat dalam plot *Autocorrelation Function* (ACF) yaitu plot yang menunjukkan korelasi antar residual pada *lag* yang berbeda (Wei, 2006). Residual dikatakan memenuhi asumsi independen jika semua nilai korelasi antar residual berada didalam batas signifikan.

Pemeriksaan residual berdistribusi normal dilakukan untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi berdistribusi normal dengan menggunakan uji *Kolmogorof Smirnov* (Daniel, 1989).

Pemeriksaan asumsi berdistribusi normal dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0$ : Residual berdistribusi normal

$H_1$ : Residual tidak berdistribusi normal

Statistik Uji :

$$D = \sup_x |S(x) - F_0(x)| \quad (2.12)$$

dimana  $F_0(x)$  adalah fungsi distribusi kumulatif, sedangkan  $S_N(x) = i/n$  merupakan fungsi peluang kumulatif pengamatan dari sampel dengan  $i$  adalah pengamatan dan  $n$  merupakan banyaknya pengamatan. Apabila fungsi (2.12) digambarkan melalui grafik,  $D$  adalah jarak vertikal terjauh antara  $S(x)$  dan  $F_0(x)$ .

Jika ditetapkan tingkat signifikansi  $\alpha$ , maka tolak  $H_0$  jika  $D > \text{kuantil}(1 - \alpha)$ . Nilai kuantil dapat dilihat dalam *Table of Percentage Points of Kolmogorov Statistics* (Daniel, 1989).

Regresi *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Tanaka, dkk (1982). Regresi *Fuzzy* mencerminkan sifat samar dari hubungan antara variabel dependen dan independen. Parameter regresi *fuzzy* merupakan sebuah bilangan *fuzzy*. Batas-batas nilai *fuzzy* digunakan dalam model regresi untuk menangkap variabilitas variabel dependen. Regresi *fuzzy* dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\tilde{\eta}_{jr} = \tilde{\beta}_0 + \sum_{k=1}^f \tilde{\beta}_k x_k \sum_{k=1}^f \tilde{\beta}_{kk} x_k^2 + \sum_{g < k} \sum \tilde{\beta}_{kg} x_k x_g + \varepsilon \quad (2.13)$$

$\forall_j, \forall_r$

dimana  $\tilde{\beta}$  merupakan vektor parameter regresi *fuzzy* yang anggotanya merupakan batas-batas bilangan *fuzzy*. Nilai parameter *fuzzy*  $\tilde{\beta}$  berdasarkan fungsi keanggotaan segitiga (*triangular fuzzy*). Misalkan  $\tilde{\beta} = (\beta^l, \beta^m, \beta^u)$  adalah koefisien *triangular fuzzy*, maka  $\beta^l$ ,  $\beta^m$ , dan  $\beta^u$  memiliki nilai sebagai berikut.

$$\tilde{\beta} = \begin{cases} \beta_{fg}^m = \text{mean}(\beta_{fg}^1 + \beta_{fg}^2 + \dots + \beta_{fg}^r) \\ \beta_{fg}^l = \beta_{fg}^m - s \\ \beta_{fg}^m = \beta_{fg}^m \\ \beta_{fg}^u = \beta_{fg}^m + s \end{cases} \quad (2.14)$$

### 2.3 Fungsi *Desirability*

Derringer dan Suich memperkenalkan konsep *desirability*. Dalam metode ini, fungsi respon ditransformasikan ke dalam bentuk fungsi *desirability* yang memiliki skala nilai nol sampai satu. Langkah dalam transformasi *desirability* yaitu setiap variabel respon  $y_i$  dikonversikan kedalam bentuk fungsi individual *desirability*  $d_i$ , dengan  $d_i = 0$  menunjukkan respon yang tidak diinginkan atau nilai respon berada di luar batas spesifikasi, sedangkan nilai  $d_i = 1$  menyatakan nilai respon ideal. Fungsi *desirability* dibedakan menjadi tiga macam berdasarkan karakteristik kualitas dari variabel respon yaitu sebagai berikut.

#### 1. *Smaller the Better Response*

$$d_i(x) = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i(x) > y_{i*} \\ \left[ \frac{\hat{y}_i - y_{i*}}{y_i^* - y_{i*}} \right] & y_{i*} \leq \hat{y}_i(x) < y_i^* \\ 1 & \hat{y}_i(x) \leq y_{i*} \end{cases} \quad (2.15)$$

#### 2. *Larger the better response*

$$d_i(x) = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i(x) < y_{i*} \\ \left[ \frac{\hat{y}_i - y_{i*}}{y_i^* - y_{i*}} \right] & y_{i*} \leq \hat{y}_i(x) < y_i^* \\ 1 & \hat{y}_i(x) \geq y_i^* \end{cases} \quad (2.16)$$

#### 3. *Nominal the Best Response*

$$d_i(x) = \begin{cases} 0 & y_{i*} \leq \hat{y}_i(x) < t_i \\ \left[ \frac{\hat{y}_i - y_{i*}}{y_i^* - y_{i*}} \right] & t_i \leq \hat{y}_i(x) \leq y_i^* \\ 1 & \hat{y}_i(x) < y_{i*} \text{ atau } \hat{y}_i(x) > y_i^* \end{cases} \quad (2.17)$$

Keterangan:

$y_{i*}$ : nilai minimum respon berdasarkan  $\hat{y}_i(x)$

$y_i^*$ : nilai target  $\hat{y}_i(x)$

$i = 1, 2, \dots, m$



Kemudian dibentuk fungsi *composite desirability* berdasarkan fungsi-fungsi individual *desirability* dengan menggunakan *mean geometric* (Park, 1995).

$$D(x) = [d_1(x) \times d_2(x) \times \dots \times d_m(x)]^{1/m} \quad (2.18)$$

## 2.4 Langkah Optimasi Multirespon Metode Taguchi

Al-Refaie, dkk (2013) mengemukakan langkah untuk mendapatkan level optimum dalam metode Taguchi multirespon. Langkah-langkah untuk optimasi multirespon yaitu sebagai berikut.

### Langkah 1

Mendesain eksperimen Taguchi dengan  $r$  kali pengulangan menggunakan aturan *Orthogonal Array*. Kemudian menghitung nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) berdasarkan karakteristik masing-masing respon sehingga diperoleh  $\eta_{ijr}$  sebagai SNR untuk eksperimen ke- $i$ , pengulangan ke- $r$ , dan respon ke- $j$ .

### Langkah 2

Membuat model regresi linier berganda  $\eta_{jr}$  untuk semua kombinasi level faktor menggunakan nilai  $\eta_{ijr}$ . Model yang terbentuk yaitu ditunjukkan pada Persamaan (2.7). Kemudian menentukan model terbaik untuk mendeskripsikan hubungan antara SNR untuk respon  $j$  dan faktor proses. Model regresi yang terbentuk yaitu sesuai pada Persamaan (2.13).

Koefisien regresi *fuzzy* diperoleh berdasarkan parameter regresi masing-masing model regresi pada  $r$  pengulangan yang kemudian dihitung menggunakan Persamaan (2.14). Selanjutnya menghitung level faktor *fuzzy* optimum.

### Langkah 3

Membentuk matriks *pay-off* berdasarkan nilai level faktor *fuzzy* optimum yang dihubungkan dengan nilai respon. Misalkan  $\tilde{X}^{(j)}$  adalah level *fuzzy* optimum dimana  $j = 1, 2, \dots, m$  dan  $\tilde{\eta}_{ij}(X)$  adalah SNR respon ke- $j$  yang ditentukan berdasarkan nilai  $\tilde{X}^{(j)}$  maka akan diperoleh hubungan sebagai berikut.

Tabel 2.2 menunjukkan matriks *pay-off* untuk nilai respon.

**Tabel 2.2** Matriks *Pay-off* untuk Nilai Respon

	$\tilde{\eta}_1(X)$	...	$\tilde{\eta}_m(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	$\tilde{\eta}_{11}(X)$	...	$\tilde{\eta}_{1m}(X)$
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\tilde{X}^{(m)}$	$\tilde{\eta}_{m1}(X)$	...	$\tilde{\eta}_{mm}(X)$

Selanjutnya membentuk matriks *pay-off* untuk nilai *desirability* yang dibentuk berdasarkan nilai level *fuzzy optimum* dihubungkan dengan nilai *desirability*. Fungsi *desirability* digunakan untuk optimasi multirespon. Fungsi *desirability* yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$\tilde{d}_j(\tilde{\eta}_j(X)) = \begin{cases} 0 & \tilde{\eta}_j < \eta_{\min} \\ \left[ \frac{\tilde{\eta}_j(X) - \eta_{\min}}{\eta_{\max} - \eta_{\min}} \right] & \eta_{\min} \leq \tilde{\eta}_j \leq \eta_{\max} \\ 1 & \tilde{\eta}_j \geq \eta_{\max} \end{cases} \quad (2.19)$$

$\tilde{\eta}_j(X)$  adalah nilai *desirability* untuk respon  $j$  dengan memasukkan level *fuzzy optimum*. Selanjutnya dibentuk matriks *pay-off* antara level *fuzzy optimum* dengan nilai *desirability* yang bertujuan untuk menentukan nilai *desirability* minimum yang akan dijadikan batasan dalam proses optimasi.

**Tabel 2.3** Matriks *Pay-off* untuk Nilai *Desirability*

	$\tilde{d}_1(X)$	...	$\tilde{d}_m(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	$\tilde{d}_{11}(X)$	...	$\tilde{d}_{1m}(X)$
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\tilde{X}^{(m)}$	$\tilde{d}_{m1}(X)$	...	$\tilde{d}_{mm}(X)$

Berdasarkan matriks *pay-off* nilai *desirability* ditentukan *upper limit*  $\tilde{U}_j = (U_j^l, U_j^m, U_j^u) = \tilde{d}_{jj}$  dan *lower limit*  $\tilde{L}_j = (L_j^l, L_j^m, L_j^u) = \text{Min}(\tilde{d}_{1j}, \dots, \tilde{d}_{mj})$  untuk fungsi *desirability*.

#### Langkah 4

Menentukan fungsi deviasi dan membuat matriks *pay-off* untuk deviasi yang dinotasikan dengan  $D_j(x)$  yang diharapkan bernilai kecil, dimana  $D_j(x)$  dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$D_j(x) = \eta_j^m(x) - \eta_j^u(x) \quad (2.20)$$

Sehingga diperoleh bentuk matriks *pay-off* seperti pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Matriks *Pay-off* untuk Nilai Fungsi Deviasi

	$\bar{D}_1(X)$	$\dots$	$D_m(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	$\bar{D}_{11}(X)$	$\dots$	$\bar{D}_{1m}(X)$
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\tilde{X}^{(m)}$	$\bar{D}_{m1}(X)$	$\dots$	$\bar{D}_{mm}(X)$

Berdasarkan matriks *pay-off* nilai fungsi deviasi ditentukan nilai  $\tilde{P}_j = (P_j^l, P_j^m, P_j^u) = \bar{D}_{jj}$  dan nilai  $\tilde{Q}_j = (Q_j^l, Q_j^m, Q_j^u) = \text{Max}(\bar{D}_{1j}, \dots, \bar{D}_{mj})$

### Langkah 5

Membentuk model akhir untuk permasalahan multirespon. Model objektif yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} & \text{Max}(\tilde{d}_{ij}(X)) \\ & \text{Min}(\bar{d}_{ij}(X)) \end{aligned} \quad (2.21)$$

dimana  $X \in$  faktor level

Berdasarkan fungsi objektif pada (2.21) selanjutnya dibentuk satu fungsi objektif berdasarkan dua fungsi  $\tilde{S}_j(X)$  dan  $\tilde{T}_j(X)$ .

$$\tilde{S}_j(X) = (S_j^l(X), S_j^m(X), S_j^u(X)) \quad (2.22)$$

$$\tilde{T}_j(X) = (T_j^l(X), T_j^m(X), T_j^u(X)) \quad (2.23)$$

dimana fungsi  $\tilde{S}_j(X)$  dan  $\tilde{T}_j(X)$  merupakan fungsi derajat kepuasan *desirability* dan *robustness*. Estimasi nilai  $\tilde{S}_j(X)$  dan  $\tilde{T}_j(X)$  dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\tilde{S}_j(X) = \begin{cases} 0 & \tilde{d}_j(X) < \bar{L}_j \\ \left[ \frac{\tilde{d}_j(X) - \bar{L}_j}{\bar{U}_j - \bar{L}_j} \right] & \bar{L}_j \leq \tilde{d}_j(X) < \bar{U}_j \\ 1 & \tilde{d}_j(X) \geq \bar{U}_j \end{cases} \quad (2.24)$$

$$\tilde{T}_j(X) = \begin{cases} 0 & \bar{D}_j(X) \leq \bar{P}_j \\ \left[ \frac{\bar{Q}_j - \bar{D}_j(X)}{\bar{Q}_j - \bar{P}_j} \right] & \bar{P}_j < \bar{D}_j(X) \leq \bar{Q}_j \\ 1 & \bar{D}_j(X) > \bar{Q}_j \end{cases} \quad (2.25)$$

Sehingga fungsi objektif memaksimumkan  $\tilde{S}_j(X)$  dan  $\tilde{T}_j(X)$  untuk  $j = 1, 2, \dots, m$ . Dengan menggunakan operator Zimmerman *Max-Min* akan mengubah dua fungsi objektif menjadi satu fungsi objektif dengan memaksimumkan derajat kebebasan yang minimum.

$$\text{Min } \tilde{S}_j(X) = \tilde{S} \quad (2.26)$$

$$\text{Min } \tilde{T}_j(X) = \tilde{T} \quad (2.27)$$

Selanjutnya model final diformulasikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Min } \tilde{S}_j(X) \\ \text{Min } \tilde{T}_j(X) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Berdasarkan batasan sebagai berikut.

$$\tilde{S} \leq \frac{\tilde{d}_j(X) - \tilde{L}_j}{\tilde{U}_j - \tilde{L}_j}, \text{ kemudian } \tilde{d}_j(X) - \tilde{S}(\tilde{U}_j - \tilde{L}_j) \geq \tilde{L}_j.$$

$$\tilde{T} \leq \frac{\tilde{Q}_j - \tilde{D}_j(X)}{\tilde{Q}_j - \tilde{P}_j}, \text{ kemudian } \tilde{D}_j(X) + \tilde{T}(\tilde{Q}_j - \tilde{P}_j) \leq \tilde{Q}_j.$$

Selanjutnya dibentuk satu model objektif dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Max } w_1 V_1 + w_2 V_2$$

Dengan batasan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \tilde{d}_j(X) - \tilde{S}(\tilde{U}_j - \tilde{L}_j) &\geq \tilde{L}_j \\ \tilde{D}_j(X) + \tilde{T}(\tilde{Q}_j - \tilde{P}_j) &\leq \tilde{Q}_j \\ w_1 + w_2 &= 1 \\ 0 &\leq V_1 \\ V_2 &\leq 1 \end{aligned} \quad (2.29)$$

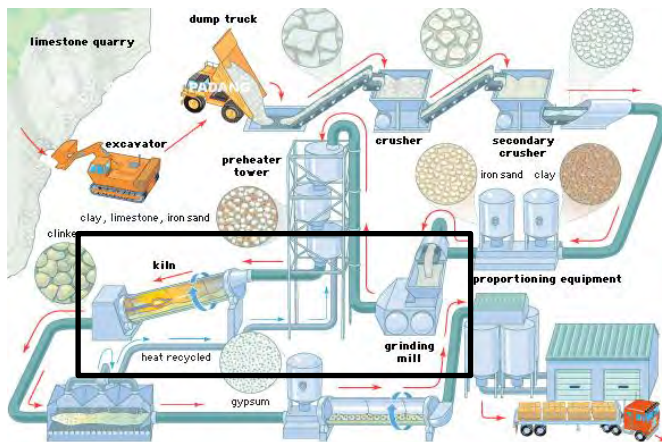
dimana  $X \in$  faktor level.

Selanjutnya menyelesaikan model  $l, m, u$  untuk mendapatkan nilai optimum dari level *fuzzy* faktor.

## 2.5 Proses Pembuatan Semen

Proses pembuatan semen yang dilakukan PT Semen Indonesia pada dasarnya melalui lima tahapan meliputi proses penyediaan bahan mentah, penggilingan bahan mentah, pembakaran, penggilingan akhir, dan pengantongan/pengemasan. Setelah proses tersebut selanjutnya dilakukan pemasaran.

Proses pembuatan semen tersebut secara lebih rinci digambarkan pada Gambar 2.1, dimana kotak hitam menunjukkan proses *finish mill* pada proses pembuatan semen.



**Gambar 2.1** Proses Pembuatan Semen di PT Semen Indonesia, Tbk

Proses produksi semen terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Tahap penambangan bahan mentah (*quarry*). Bahan dasar semen adalah batu kapur, tanah liat, pasir besi dan pasir *silica*. Bahan-bahan ini ditambang dengan menggunakan alat-alat berat kemudian dikirim ke pabrik semen.
2. Tahap penggilingan awal bahan mentah yaitu batu kapur dan tanah liat dengan mesin penghancur (*chrusher*).
3. Bahan mentah yang telah dihancurkan dicampur dengan pasir besi dan pasir *silica* di *raw mill*. Bahan tersebut sebelumnya diteliti di laboratorium, kemudian dicampur dengan proporsi yang tepat.
4. Bahan kemudian dipanaskan di *preheater*
5. Pemanasan dilanjutkan di dalam *kiln* sehingga bereaksi membentuk kristal *klinker*.
6. Kristal *klinker* ini kemudian didinginkan di *cooler* dengan bantuan angin. Panas dari proses pendinginan ini dialirkan lagi ke *preheater* untuk menghemat energi.
7. *Klinker* ini kemudian dihaluskan lagi dalam tabung yang berputar yang bersisi bola-bola baja sehingga menjadi serbuk semen yang halus.

8. *Klinker* yang telah halus ini disimpan dalam silo (tempat penampungan semen mirip tangki minyak Pertamina).
9. Dari silo ini semen dipak (*packing plant*) dan dijual ke konsumen.

## **2.6 *Portland Pozzoland Cement (PPC)***

Semen PPC merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan terak (*clinker*) yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Dalam proses pembuatan semen PPC di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk komposisi bahan yang digunakan yaitu terak (*clinker*), *fly ash*, *gypsum*, batu kapur, dan *trass*. Presentase terak (*clinker*) yang digunakan yaitu sekitar 70% dan sisanya adalah bahan pembuat semen *Portland* lainnya, yaitu *fly ash*, *gypsum*, batu kapur, dan *trass* dengan presentase yang berbeda-beda namun masih dalam rentang yang ditentukan oleh perusahaan.

Tujuan penambahan *gypsum* dalam pembuatan semen yaitu menunda waktu pengikatan semen, sedangkan penambahan batu kapur dan *fly ash* bertujuan untuk mempercepat waktu pengikatan sehingga didapatkan waktu kering yang optimum. Penambahan *trass* dalam pembuatan semen bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan semen.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari Seksi Jaminan Mutu PT. Semen Indonesia pada proses *Finish Mill* 8 (ditunjukkan pada Gambar 2.1) di pada Bulan Januari 2014-Desember 2014 yang disesuaikan dengan rancangan percobaan. Variabel yang diteliti adalah karakteristik kualitas semen meliputi variabel respon dan variabel proses dengan penjelasan sebagai berikut.

#### 1. Variabel Respon

Variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini ada dua yaitu:

##### a. Waktu Pengikatan (*Setting Time*)

Waktu pengikatan maksimal yang dibutuhkan semen untuk mengeras adalah 360 menit. Karakteristik kualitas ini bersifat *smaller the better response* atau dengan kata lain semakin kecil nilai *setting time* maka akan semakin baik.

##### b. Kuat Tekan Semen

Kuat tekan dapat diukur pada tiga keadaan, yaitu kuat tekan 3 hari, kuat tekan 7 hari, dan kuat tekan 28 hari. Ketiga keadaan tersebut diharapkan bersifat *larger the better response* atau dengan kata lain semakin besar nilai kuat tekan semen maka akan semakin baik.

#### 2. Variabel Proses

Variabel proses yang digunakan dalam penelitian ini ada 3 yaitu:

##### a. LOI (*Loss On Ignition*)

*Loss on Ignition* merupakan salah satu pengujian untuk melihat seberapa besar berat semen yang hilang akibat proses pembakaran. LOI merupakan salah satu indikator pengukuran batu kapur. Penggunaan batu kapur dalam pembuatan semen sekitar 7%-8%. Nilai LOI yang bertambah pada penyimpanan

akan mengindikasikan penurunan kuat tekan yang disebabkan oleh terjadinya *prehydrasi* pada semen.

b. *Insoluble* atau kehalusan semen

Makin halus semen atau partikel-partikel semen akan menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi. Hal ini dikarenakan semakin luasnya permukaan yang bereaksi dengan air dan kontak dengan agregat. *Insoluble* merupakan indikator pengukuran *trass*. *Trass* merupakan hasil pelapukan endapan vulkanik yang sebagian besar mengandung silika, besi, dan alumina dengan ikatan gugus oksida. Dalam pembuatan semen, *trass* yang ditambahkan yaitu sekitar 16% - 17%.

c. Kadar  $\text{SO}_3$  sebagai indikator pengukuran *Gypsum*

*Gypsum* berfungsi sebagai retarder atau bahan yang dapat mengendalikan waktu pengerasan semen. Dalam pembuatan semen *gypsum* yang ditambahkan yaitu sekitar 4% - 5%.

Variabel penelitian sesuai dengan uraian di atas disajikan dalam Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1** Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
$Y_1$	Kuat Tekan 28 Hari	Kg/cm <sup>2</sup>
$Y_2$	<i>Setting Time</i> Awal	Menit
$X_1$	Kadar $\text{SO}_3$	%
$X_2$	Kadar <i>Insoluble</i>	%
$X_3$	Kadar LOI	%

### 3.2 Rancangan Percobaan

Dalam penelitian ini terdapat 3 variabel proses yang digunakan sebagai faktor utama yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$ . Berdasarkan *Orthogonal Array* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu  $L_9(3^4)$  maka terdapat 9 kali percobaan dan 3 faktor dengan perulangan sebanyak 3 kali. Perulangan tiga kali dilakukan untuk mengatasi kesulitan dalam menentukan level faktor gangguan yang terjadi serta meminimumkan biaya (Vaani&Hameedullah, 2005).

*Orthogonal Array* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu  $L_9(3^4)$  berdasarkan pada jumlah level pada faktor yaitu 3



level. Ketiga faktor tersebut memiliki 3 level seperti tertera pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Variabel Proses atau Faktor Penelitian

Variabel	Level
$SO_3 (X_1)$	Level -1 = 1,3% - 1,72%
	Level 0 = 1,73% - 1,87 %
	Level 1 = 1,88% - 2,2 %
<i>Insoluble</i> ( $X_2$ )	Level -1 = 6% - 10,99%
	Level 0 = 11% - 13,99%
	Level 1 = 14% - 19%
LOI ( $X_3$ )	Level -1 = 0,9% - 3,08%
	Level 0 = 3,09% - 4%
	Level 1 = 4% - 5,5%

Penentuan level pada masing-masing faktor didasarkan pada *range* yang diijinkan perusahaan. *Range* ini diketahui berdasarkan informasi bagian Jaminan Mutu perusahaan.

Data perusahaan yaitu dalam hal ini adalah data komposisi bahan baku semen PPC serta karakteristik kualitas semen PPC, merupakan data yang bersifat kontinyu. Data tersebut terus tercatat selama perusahaan yaitu PT. Semen Indonesia melakukan proses produksi semen. Namun dalam penelitian ini, dari data kontinyu tersebut hanya diambil data yang memenuhi atau sesuai dengan rancangan percobaan yang telah dibuat (Tabel 3.2). Apabila dalam suatu waktu terdapat *setting* level faktor bahan baku yang tetap, atau hanya sesuai dengan salah satu rancangan, sesuai anjuran dari perusahaan maka dipilih hasil respon karakteristik kualitas yang mendekati dengan batasan nilai yang ditentukan oleh perusahaan.

Tabel 3.3 merupakan struktur data dan rancangan *orthogonal array* untuk analisis data pengamatan. Dimana  $y_{ijk}$  merupakan data hasil pengamatan pada percobaan kombinasi faktor ke- $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ), respon ke- $j$  ( $j = 1, 2$ ) dan ulangan ke- $k$  ( $k = 1, 2, 3$ ). Sedangkan nilai yang tertulis dalam kolom level faktor merupakan level-level untuk komposisi bahan baku yang ditentukan oleh perusahaan. Dimana untuk masing-masing kadar bahan baku terdapat 3 level faktor.

**Tabel 3.3** Eksperimen dengan Tiga Kali Perulangan

Eks	Level Faktor				Respon					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$\varepsilon$	$Y_1$			$Y_2$		
					$Y_{i11}$	$Y_{i12}$	$Y_{i13}$	$Y_{i21}$	$Y_{i22}$	$Y_{i23}$
1	-1	-1	-1	-1	$Y_{111}$	$Y_{112}$	$Y_{113}$	$Y_{121}$	$Y_{122}$	$Y_{123}$
2	-1	0	0	0	$Y_{211}$	$Y_{212}$	$Y_{213}$	$Y_{221}$	$Y_{222}$	$Y_{223}$
3	-1	1	1	1	$Y_{311}$	$Y_{312}$	$Y_{313}$	$Y_{321}$	$Y_{322}$	$Y_{323}$
4	0	-1	0	1	$Y_{411}$	$Y_{412}$	$Y_{413}$	$Y_{421}$	$Y_{422}$	$Y_{423}$
5	0	0	1	-1	$Y_{511}$	$Y_{512}$	$Y_{513}$	$Y_{521}$	$Y_{522}$	$Y_{523}$
6	0	1	-1	0	$Y_{611}$	$Y_{612}$	$Y_{613}$	$Y_{621}$	$Y_{622}$	$Y_{623}$
7	1	-1	1	0	$Y_{711}$	$Y_{712}$	$Y_{713}$	$Y_{721}$	$Y_{722}$	$Y_{723}$
8	1	0	-1	1	$Y_{811}$	$Y_{812}$	$Y_{813}$	$Y_{821}$	$Y_{822}$	$Y_{823}$
9	1	1	0	-1	$Y_{911}$	$Y_{912}$	$Y_{913}$	$Y_{921}$	$Y_{922}$	$Y_{923}$

Berdasarkan Tabel 3.3 diketahui bahwa pada eksperimen pertama yaitu menggunakan kombinasi  $SO_3$  yang memenuhi level -1, insoluble yang memenuhi level -1, dan LOI yang memenuhi level -1 berdasarkan kriteria pada Tabel 3.2. Hasil eksperimen pertama diukur kuat tekan dan *setting time* awal dengan dilakukan perulangan sebanyak 3 kali pada setiap eksperimen. Kemudian hasilnya dicatat dan dilanjutkan sampai didapatkan hasil eksperimen ke-9 dengan 3 kali perulangan.

### 3.3 Langkah Analisis

Langkah analisis yang dilakukan pada penelitian ini untuk dapat mengoptimalkan variabel respon yaitu:

1. Menentukan rancangan percobaan menggunakan metode Taguchi.

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder sehingga tidak dilakukan randomisasi pada pemilihan data. Data yang dipilih dalam penelitian merupakan data dalam periode yang ditentukan yang sesuai dengan rancangan dan level berdasarkan metode Taguchi.

2. Menentukan level optimal menggunakan metode Taguchi  
Penentuan level optimal dilakukan dengan cara memaksimalkan rata-rata nilai SNR masing-masing respon. Perhitungan SNR didasarkan pada karakteristik masing-masing respon, dimana kuat tekan memiliki karakteristik *larger the better response*, sedangkan *setting time* awal memiliki karakteristik

*smaller the better response*. Nilai SNR dihitung untuk setiap pengamatan dan pengulangan.

3. Menentukan model regresi terbaik

Menentukan model regresi diawali dengan membentuk model regresi dimana respon pada model tersebut yaitu SNR pada masing-masing replikasi untuk setiap responnya. Berdasarkan model regresi yang terbentuk kemudian dilakukan pemeriksaan asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal.

4. Menentukan level optimal melalui fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy*

Berdasarkan model regresi yang terbentuk pada setiap pengulangan kemudian didapatkan regresi *fuzzy* dimana koefisien regresinya merupakan *crisp value*, yaitu batasan nilai dari *triangular fuzzy*. Selanjutnya ditentukan level faktor *fuzzy* optimal dari nilai respon optimum persamaan regresi *fuzzy* yang terbentuk. Berdasarkan nilai level faktor optimum *fuzzy* dari masing-masing nilai respon yang disubstitusikan ke semua persamaan regresi *fuzzy* maka akan didapatkan matriks *pay off* yang kemudian ditentukan nilai *desirability* masing-masing responnya.

5. Membentuk dua model objektif untuk permasalahan multi-respon

Fungsi objektif *desirability* dibentuk berdasarkan nilai *desirability* dan batas nilai *desirability*, fungsi objektif *robustness* dibentuk berdasarkan nilai deviasi dan batas-batas nilainya.

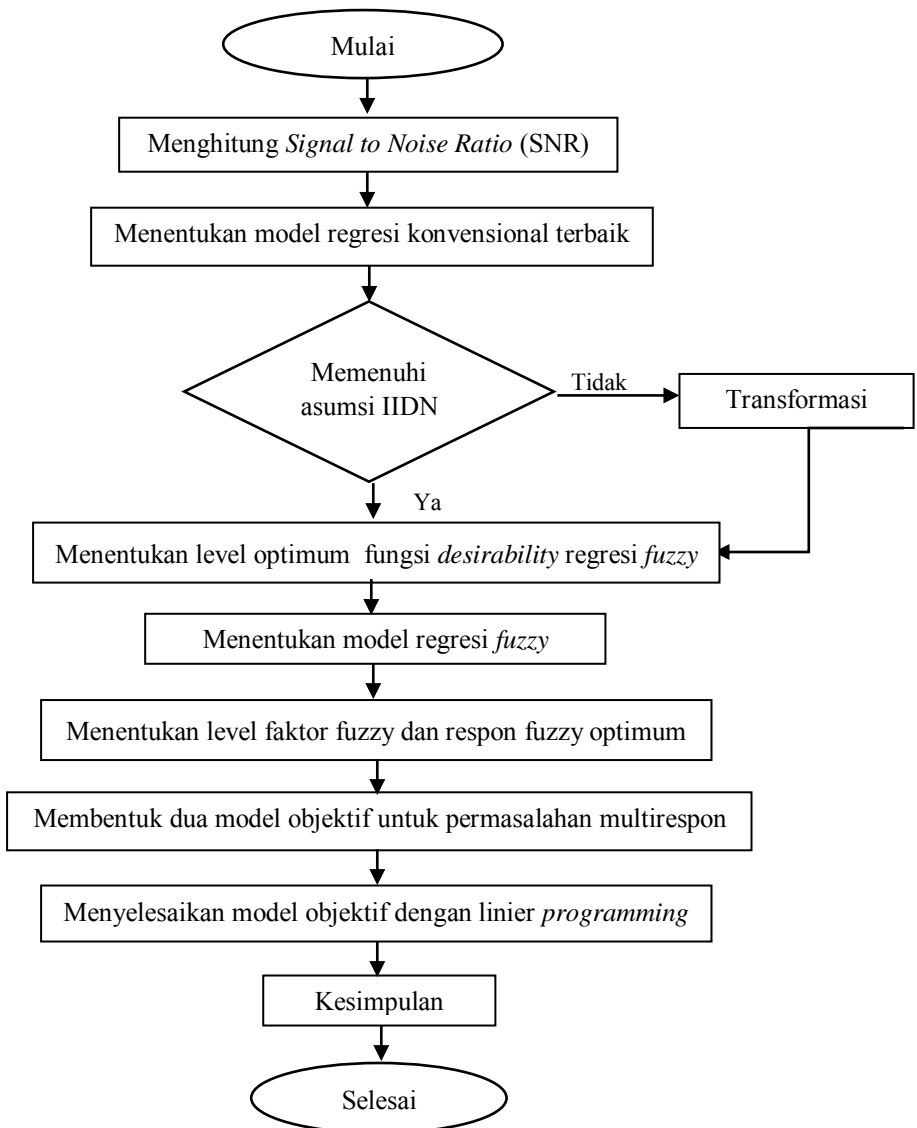
6. Menyelesaikan permasalahan fungsi linier dengan metode GRG (*Generalized Reduced Gradient*) Nonlinier

Penyelesaian *linier programming* dengan batasan-batasan yang ada dilakukan menggunakan *software solver* pada *micro-soft excel* dengan memilih metode GRG (*Generalized Reduced Gradient*) Nonlinier. Sehingga penyelesaian akhir dari *linier programming* nantinya diperoleh level faktor yang mengotimalkan semua nilai respon secara serentak.

7. Menarik kesimpulan

Menarik kesimpulan berdasarkan hasil penyelesaian.

Langkah analisis secara grafik disajikan dalam Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan pada penelitian ini dilakukan pada data *finish mill* 8 dari Seksi Jaminan Mutu PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk untuk mengoptimalkan kuat tekan 28 dan *setting time* awal pada semen PPC. Bahan baku yang digunakan yaitu *gypsum* dengan kandungan yang digunakan sebagai pengukuran yaitu kadar  $\text{SO}_3$  ( $X_1$ ), *trass* dengan kandungan yang digunakan sebagai pengukuran yaitu kadar *insoluble* ( $X_2$ ), dan batu kapur dengan kandungan yang digunakan sebagai pengukuran yaitu kadar LOI ( $X_3$ ).

### 4.1 Penentuan Level Optimal

Semen PPC merupakan salah satu jenis semen yang diproduksi di PT. Semen Indonesia, Persero (Tbk) yang tolok ukur kualitas semen yang digunakan yaitu kuat tekan semen dan *setting time*. Karakteristik kualitas semen kuat tekan dihitung berdasarkan sifat *larger the better* atau semakin besar semakin baik, sedangkan karakteristik kualitas *setting time* diukur berdasarkan sifat *smaller the better*. Selanjutnya berdasarkan dua karakteristik kualitas tersebut ditentukan level komposisi yang optimal agar dapat mengoptimalkan nilai kuat tekan dan *setting time* semen PPC khususnya kuat tekan 28 hari dan *setting time* awal semen PPC.

Penentuan level optimal menggunakan metode Taguchi didasarkan pada nilai maksimum dari rata-rata SNR ratio variabel respon pada masing-masing level faktor. Semakin besar nilai SNR ratio menunjukkan nilai deviasi karakteristik kualitas yang semakin kecil sehingga sesuai dengan nilai yang diharapkan. Selanjutnya nilai rata-rata dari respon dihitung nilai SNRnya berdasarkan karakteristik masing-masing respon. Berdasarkan data yang terlampir pada Lampiran 1, selanjutnya dihitung nilai SNR ratio Kuat Tekan 28 hari menggunakan Persamaan (2.3) berdasarkan karakteristik kualitasnya yaitu *larger the better*.

Tabel 4.1 merupakan rata-rata nilai SNR ratio respon Kuat Tekan 28 hari pada masing-masing level faktor.

**Tabel 4.1** Rata-rata SNR Kuat Tekan 28 Hari Masing-masing Level Faktor

Respon	Faktor	Level			Level optimum
		-1	0	1	
$\eta_{11}$	X <sub>1</sub>	50,144	49,936	50,362	1
	X <sub>2</sub>	50,660	50,172	49,608	-1
	X <sub>3</sub>	50,634	51,034	48,773	0
$\eta_{12}$	X <sub>1</sub>	50,110	48,801	50,021	-1
	X <sub>2</sub>	50,141	49,310	49,481	-1
	X <sub>3</sub>	50,647	50,155	48,129	-1
$\eta_{13}$	X <sub>1</sub>	50,339	50,771	49,856	0
	X <sub>2</sub>	50,883	50,244	49,839	-1
	X <sub>3</sub>	50,926	51,007	48,964	0

$\eta_{11}$  menunjukkan nilai *Signal to Noise Ratio* untuk kuat tekan 28 hari pada replikasi pertama. Sehingga berdasarkan Tabel 4.1 diketahui level optimal untuk masing-masing faktor pada setiap replikasi. Level optimal didapatkan dari nilai SNR yang maksimum.

Selanjutnya dilakukan analisis penentuan level optimal pada respon *setting time* awal. Berdasarkan data pada Lampiran 1, terlihat bahwa respon *setting time* awal memiliki variasi yang cukup besar antar replikasinya. Sehingga untuk menghasilkan estimasi parameter regresi *fuzzy* yang lebih akurat, maka nilai respon yang diambil adalah nilai rata-rata antar replikasi dengan harapan dapat mewakili variasi antar replikasi. Atau dengan kata lain dihitung nilai rata-rata antar masing-masing replikasi untuk selanjutnya dicari nilai terbesar. Selanjutnya nilai tersebut yang kemudian dicari nilai SNR *ratio* untuk selanjutnya didapatkan level optimum pada masing-masing level faktor pada setiap replikasi respon *setting time* awal.

Tabel 4.2 merupakan rata-rata nilai SNR *ratio* respon *setting time* awal pada masing-masing level faktor.

**Tabel 4.2** Rata-rata SNR *Setting Time* Awal Masing-masing Level Faktor

Respon	Faktor	Level			Level
		-1	0	1	optimum
$\eta_{21}$	X <sub>1</sub>	-49,906	-46,818	-47,288	0
	X <sub>2</sub>	-46,590	-47,486	-46,935	-1
	X <sub>3</sub>	-47,574	-47,310	-46,128	1
$\eta_{22}$	X <sub>1</sub>	-46,458	-47,222	-47,329	-1
	X <sub>2</sub>	-46,707	-47,368	-46,935	-1
	X <sub>3</sub>	-47,161	-47,511	-46,337	1
$\eta_{23}$	X <sub>1</sub>	-46,462	-47,018	-47,135	-1
	X <sub>2</sub>	-46,423	-47,325	-46,868	-1
	X <sub>3</sub>	-46,909	-47,375	-46,330	1

$\eta_{21}$  merupakan nilai *Signal to Noise Ratio* untuk *setting time* awal pada replikasi pertama,  $\eta_{22}$  nilai pada replikasi kedua, dan  $\eta_{23}$  nilai pada replikasi ketiga. Tabel 4.2 menunjukkan level optimal pada masing-masing faktor untuk setiap replikasi pada respon *setting time* awal.

## 4.2 Pembentukan Model Regresi

Analisis Model regresi merupakan analisis yang bertujuan untuk mendapatkan suatu model regresi yang mampu menjelaskan variabel respon berdasarkan faktor atau dalam hal ini yaitu kandungan bahan baku yang digunakan sebagai pengukuran. Dalam penelitian ini variabel respon yang digunakan yaitu SNR dari kuat tekan 28 hari dan *setting time* awal. Dimana pada masing-masing respon dilakukan tiga replikasi. Tiga model regresi yaitu model regresi linier, model orde dua kuadrat, dan model orde dua interaksi.

#### 4.2.1 Model Regresi Kuat Tekan 28 Hari

Analisis model kuat tekan 28 hari dilakukan dengan menggunakan analisis *respon surface* dimana terbentuk model regresi yaitu model regresi orde pertama atau linier dan model orde kedua. Pemodelan menggunakan model tersebut bertujuan untuk mendapatkan model regresi terbaik untuk masing-masing replikasi pada setiap respon. Variabel prediktor untuk model linier yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$ , untuk model orde dua kuadratik yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_1^2$ ,  $X_2^2$ , dan  $X_3^2$ , selanjutnya untuk model orde dua interaksi yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_1 * X_2$ ,  $X_1 * X_3$ , dan  $X_2 * X_3$ . Sehingga akan didapatkan tiga model terbaik untuk respon  $\eta_{11}$  yang merupakan model regresi kuat tekan 28 hari untuk replikasi pertama,  $\eta_{12}$  untuk replikasi kedua, dan  $\eta_{13}$  untuk replikasi ketiga.

Analisis model regresi terbaik untuk respon  $\eta_{11}$ ,  $\eta_{12}$ , dan  $\eta_{13}$  dengan menggunakan 3 alternatif model regresi (terdapat pada Lampiran 4, Lampiran 5, dan Lampiran 6) didapatkan hasil bahwa model orde dua kuadratik merupakan model yang terbaik karena memiliki nilai  $R^2$  yang tertinggi. Tabel 4.3 merupakan hasil estimasi parameter yang didapatkan dari masing-masing replikasi.

**Tabel 4.3** Estimasi Parameter Model Regresi Respon  $\eta_1$

Parameter	Variabel	Koefisien $\eta_{11}$	Koefisien $\eta_{12}$	Koefisien $\eta_{13}$
$b_0$	Konstanta	50,8482	48,9778	51,4474
$b_1$	$X_1$	0,1087	-0,0444	-0,2415
$b_2$	$X_2$	-0,5260	-0,3303	-0,5219
$b_3$	$X_3$	-0,9302	-1,2590	-0,9813
$b_{11}$	$X_1 * X_1$	0,3172	1,2647	-0,6737
$b_{22}$	$X_2 * X_2$	-0,0379	0,5016	0,1178
$b_{33}$	$X_3 * X_3$	-1,3310	-0,7671	-1,1320

Model kuat tekan pada 3 replikasi yang terbentuk berdasarkan nilai parameter pada Tabel 4.3 yaitu sebagai berikut.

Model replikasi pertama  $\eta_{11}$ :

$$\hat{\eta}_{11} = 50,8 + 0,109X_1 - 0,526X_2 - 0,930X_3 + 0,317X_1X_1 - 0,038X_2X_2 - 1,33X_3X_3$$



Model replikasi kedua  $\eta_{12}$ :

$$\hat{\eta}_{12} = 49,0 - 0,044X_1 - 0,330X_2 - 1,26 + 1,26X_1X_1 + 0,502X_2X_2 - 0,767X_3X_3$$

Model replikasi ketiga  $\eta_{13}$ :

$$\hat{\eta}_{13} = 51,4 - 0,241X_1 - 0,522X_2 - 0,981X_3 - 0,674X_1X_1 + 0,118X_2X_2 - 1,13X_3X_3$$

Pada model kuat tekan 28 hari masing-masing replikasi dilakukan uji signifikansi parameter secara individu untuk mengetahui variabel yang berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan 28 hari. Tabel 4.4 menunjukkan nilai uji signifikansi parameter pada setiap replikasi. Nilai *p-value* masing-masing parameter yang didapatkan pada model regresi dibandingkan dengan tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 10%. Hal tersebut dilakukan pada masing-masing replikasi untuk model regresi kuat tekan 28 hari.

**Tabel 4.4** Uji Signifikansi Parameter Model Regresi Respon  $\eta_1$

Parameter	Variabel	<i>P-value</i> $\eta_{11}$	<i>P-value</i> $\eta_{12}$	<i>P-value</i> $\eta_{13}$
$b_0$	Konstanta	0,000	0,000	0,000
$b_1$	$X_1$	0,684	0,822	0,392
$b_2$	$X_2$	0,150	0,197	0,144
$b_3$	$X_3$	0,056	0,018	0,048
$b_{11}$	$X_1 * X_1$	0,510	0,052	0,223
$b_{22}$	$X_2 * X_2$	0,933	0,237	0,789
$b_{33}$	$X_3 * X_3$	0,079	0,125	0,099

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa pada replikasi pertama variabel  $X_3$  (kadar LOI) berpengaruh signifikan secara linier maupun kuadratik. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai *p-value* variabel  $X_3$  dan  $X_3 * X_3$  yang bernilai kurang dari 0,1. Selanjutnya pada replikasi 2 variabel  $X_3$  (kadar LOI) berpengaruh signifikan secara linier sedangkan variabel  $X_1$  (kadar  $SO_3$ ) berpengaruh signifikan secara kuadratik. Pada replikasi 3 variabel  $X_3$  (kadar LOI) berpengaruh signifikan secara linier maupun kuadratik.

Secara teori kadar LOI ( $X_3$ ) adalah faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan semen maupun *setting time* semen. Sedangkan kadar *insoluble* ( $X_2$ ) juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan semen dan kadar  $SO_3$  ( $X_1$ )

adalah faktor yang berpengaruh terhadap *setting time* semen. Sehingga dalam penelitian ini diasumsikan bahwa signifikansi parameter terpenuhi.

Kriteria pemilihan model selanjutnya yaitu dengan melihat apakah residual dari model yang terbentuk telah memenuhi asumsi IIDN. Pemeriksaan asumsi identik dilakukan dengan menggunakan uji *Glejser* dengan cara meregresikan harga mutlak residual dengan variabel prediktor. Adanya kasus heteroskedastisitas apabila terdapat *p-value* pada masing-masing parameter yang kurang dari taraf signifikansi ( $\alpha = 5\%$ ). Hasil yang didapatkan dari pengujian *Glejser* pada masing-masing replikasi untuk model regresi kuat tekan 28 hari didapatkan kesimpulan yang sama, yaitu tidak terdapat variabel yang memiliki nilai *p-value* kurang dari 0,05, sehingga asumsi homogenitas terpenuhi atau dapat dikatakan residual telah identik.

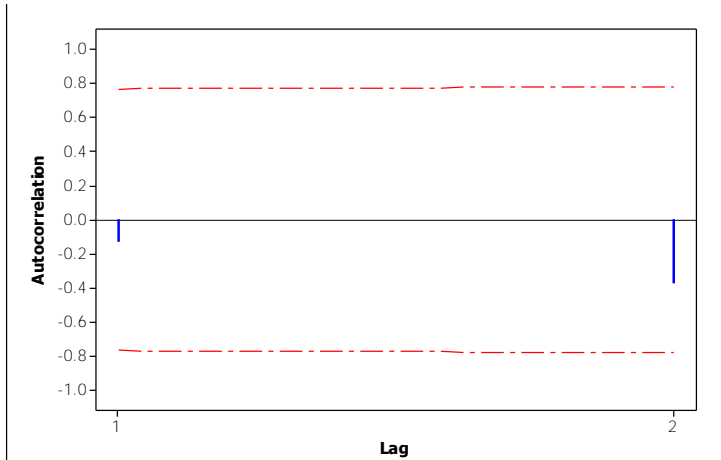
Tabel 4.5 merupakan hasil uji *Glejser* untuk model regresi  $\eta_{11}$ . Selanjutnya untuk hasil uji *Glejser* model regresi  $\eta_{12}$ , dan  $\eta_{13}$  dapat dilihat pada lampiran 7.

**Tabel 4.5** Hasil Uji *Glejser* Respon  $\eta_{11}$

Variabel	Koefisien	T	<i>P-value</i>
<b>Constant</b>	0,2361	1,03	0,412
<b>X<sub>1</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000
<b>X<sub>2</sub></b>	0,0000	0,00	1,000
<b>X<sub>3</sub></b>	0,0000	0,00	1,000
<b>X<sub>1</sub>*X<sub>1</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000
<b>X<sub>2</sub>*X<sub>2</sub></b>	0,0000	0,00	1,000
<b>X<sub>3</sub>*X<sub>3</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000

Pengujian asumsi independen dilakukan secara visual dengan melihat plot *Autocorrelation Function* (ACF). Berikut merupakan plot ACF dari residual. Residual dikatakan memenuhi asumsi independen jika semua nilai korelasi antar residual berada di dalam batas signifikan. Hasil pengujian residual dari model regresi kuat tekan dari 3 replikasi mendapatkan hasil yang sama yaitu tidak terdapat nilai autokorelasi yang keluar dari batas kritis

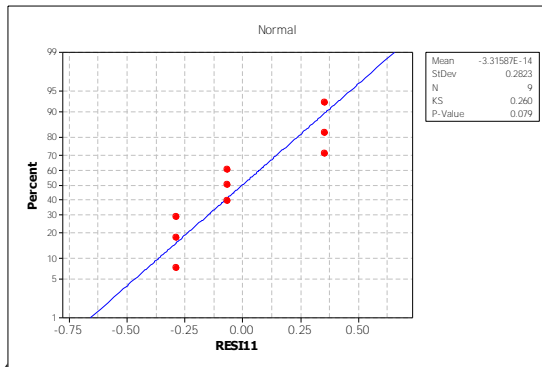
sehingga dapat disimpulkan bahwa residual antar pengamatan tidak signifikan (Lampiran 8). Hal ini membuktikan bahwa asumsi residual independen terpenuhi. Gambar 4.1 merupakan *autocorrelation function* model regresi  $\eta_{11}$ .



**Gambar 4.1** Asumsi Independen untuk Respon  $\eta_{11}$

Pengujian yang terakhir yaitu untuk melihat apakah residual berdistribusi normal dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Nilai *p-value* yang didapatkan dari pengujian kemudian dibandingkan dengan tingkat signifikansi  $\alpha$  (5%). Apabila nilai *p-value* lebih dari 0,05 maka asumsi normalitas terpenuhi atau dengan kata lain residual pada model regresi linier berganda telah berdistribusi normal.

Hasil pengujian untuk model regresi kuat tekan 28 hari untuk 3 replikasi didapatkan kesimpulan masing-masing. Namun kesimpulan pada hasil pengujian untuk 3 model atau 3 replikasi yaitu sama. Dimana semua model telah memenuhi asumsi normalitas. Hasil pengujian masing-masing dapat dilihat pada Lampiran 9. Gambar 4.2 berikut merupakan salah satu contoh hasil pengujian asumsi normalitas pada model kuat tekan 28 hari yaitu Probabilitas *Plot* Residual untuk Respon  $\eta_{11}$ .



**Gambar 4.2** Probabilitas Plot Residual untuk Respon  $\eta_{11}$

#### 4.2.2 Model Regresi *Setting Time* Awal

Analisis model *setting time* awal dilakukan dengan menggunakan analisis *respon surface* dimana terbentuk model regresi yaitu model regresi orde pertama atau linier dan model orde kedua. Analisis model regresi dilakukan dengan membentuk model regresi yaitu model regresi linier, model orde dua kuadrat, dan model orde dua interaksi. Pemodelan menggunakan model tersebut bertujuan untuk mendapatkan model regresi terbaik untuk masing-masing replikasi pada setiap respon. Variabel prediktor untuk model linier yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$ , untuk model orde dua kuadrat yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_1^2$ ,  $X_2^2$ , dan  $X_3^2$ , selanjutnya untuk model orde dua interaksi yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_1 * X_2$ ,  $X_1 * X_3$ , dan  $X_2 * X_3$ . Sehingga akan didapatkan tiga model regresi *setting time* awal terbaik respon  $\eta_{21}$  untuk replikasi pertama,  $\eta_{22}$  untuk replikasi kedua, dan  $\eta_{23}$  untuk replikasi ketiga.

Analisis model regresi terbaik untuk *setting time* awal pada masing-masing replikasi  $\eta_2$  didapatkan hasil bahwa dari 3 model yang didapatkan pada setiap replikasinya tidak memenuhi asumsi normalitas sehingga nilai respon perlu dilakukan transformasi. Setelah dilakukan transformasi terhadap nilai SNR *ratio setting time* awal, didapatkan bahwa pada replikasi pertama model yang terbaik yaitu model orde dua kuadrat, pada replikasi kedua dan ketiga yaitu model orde dua interaksi karena pada model tersebut

memiliki nilai  $R^2$  tertinggi (Lampiran 10, 11, dan 12). Tabel 4.6 berikut merupakan hasil estimasi parameter yang didapatkan dari masing-masing replikasi.

**Tabel 4.6** Estimasi Parameter Model Regresi Respon  $\eta_2$

Parameter	Variabel	Koefisien $\eta_{21}$	Koefisien $\eta_{22}$	Koefisien $\eta_{23}$
$b_0$	Konstanta	-0,0210074	-0,0212808	-0,0213394
$b_1$	$X_1$	0,00008506	-0,0000769	-0,0001273
$b_2$	$X_2$	0,00007723	-0,0002520	-0,0001795
$b_3$	$X_3$	-0,00032744	-0,0000170	0,0000662
$b_{11}$	$X_1 * X_1$	0,0001225	0,0003343	0,0003917
$b_{22}$	$X_2 * X_2$	-0,0003201	-0,0006101	-0,0005634
$b_{33}$	$X_3 * X_3$	-0,0002123	-0,0005517	-0,0005665

Model yang terbentuk berdasarkan nilai parameter pada Tabel 4.6 yaitu sebagai berikut.

Model replikasi pertama  $\eta_2$ :

$$\hat{\eta}_{21} = -0,0210 + 0,000085X_1 + 0,000077X_2 - 0,000327X_3 + 0,000123X_1X_1 \\ - 0,000320X_2X_2 - 0,000212X_3X_3$$

Model replikasi kedua  $\eta_{22}$ :

$$\hat{\eta}_{22} = -0,0213 - 0,000077X_1 - 0,000252X_2 - 0,000017X_3 + 0,000334X_1X_1 \\ - 0,000610X_2X_2 - 0,000552X_3X_3$$

Model replikasi ketiga  $\eta_{23}$ :

$$\hat{\eta}_{23} = -0,0213 - 0,000127X_1 - 0,000179X_2 + 0,000066X_3 + 0,000392X_1X_1 \\ - 0,000563X_2X_2 - 0,000567X_3X_3$$

Pada model regresi *setting time* awal pada masing-masing replikasi dilakukan uji signifikansi parameter secara individu untuk mengetahui variabel yang berpengaruh signifikan terhadap *setting time* awal. Tabel 4.7 menunjukkan nilai uji signifikansi parameter pada setiap replikasi. Nilai *p-value* masing-masing parameter yang didapatkan pada model regresi dibandingkan dengan tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 10%.

Apabila nilai *p-value* tersebut kurang dari taraf signifikansi yang ditentukan, maka variabel terkait dapat dikatakan tidak signifikan. Dengan cara yang sama, dilakukan uji signifikansi parameter pada model untuk masing-masing replikasi. Hal tersebut dilakukan pada masing-masing replikasi untuk model regresi *setting time* awal. Tabel 4.7 berikut merupakan nilai *p-value* untuk masing-masing parameter.

**Tabel 4.7** Uji Signifikansi Parameter Model Regresi Respon  $\eta_2$ 

Parameter	Variabel	<i>P-value</i> $\eta_{21}$	<i>P-value</i> $\eta_{22}$	<i>P-value</i> $\eta_{23}$
$b_0$	Konstanta	0,000	0,000	0,000
$b_1$	$X_1$	0,359	0,663	0,502
$b_2$	$X_2$	0,396	0,239	0,370
$b_3$	$X_3$	0,045	0,921	0,714
$b_{11}$	$X_1 * X_1$	0,435	0,280	0,237
$b_{22}$	$X_2 * X_2$	0,124	0,116	0,139
$b_{33}$	$X_3 * X_3$	0,231	0,137	0,137

Pada replikasi pertama variabel yang berpengaruh signifikan secara linier terhadap *setting time* awal yaitu variabel  $X_3$  (kadar LOI). Sedangkan pada replikasi kedua dan ketiga tidak ada variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap *setting time* awal. Jika dikembalikan secara konsep perusahaan, kadar LOI dan kadar  $SO_3$  merupakan variabel yang berpengaruh terhadap *setting time* awal sehingga analisis dapat dilanjutkan atau dengan kata lain diasumsikan pengujian signifikansi parameter terpenuhi.

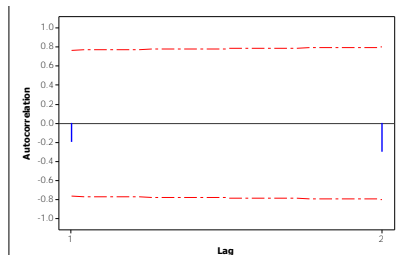
Kriteria pemilihan model selanjutnya yaitu dengan melihat apakah residual dari model yang terbentuk telah memenuhi asumsi IIDN. Pemeriksaan asumsi identik dilakukan dengan menggunakan uji Glejser dengan cara meregresikan harga mutlak residual dengan variabel prediktor. Adanya kasus heteroskedastisitas apabila terdapat *p-value* pada masing-masing parameter yang kurang dari taraf signifikansi ( $\alpha = 5\%$ ).

Pada model untuk masing-masing replikasi, didapatkan hasil pengujian glejser masing-masing. Dimana hasil yang didapatkan dari pengujian *Glejser* pada masing-masing replikasi untuk model regresi *setting time* awal didapatkan kesimpulan yang sama, yaitu tidak terdapat variabel yang memiliki nilai *p-value* kurang dari 0,05. Dari kesimpulan tersebut selanjutnya dapat diartikan asumsi homogenitas terpenuhi atau dapat dikatakan residual telah identik. Hasil pengujian untuk masing-masing replikasi terdapat pada Lampiran 13. Tabel 4.8 berikut merupakan hasil uji *Glejser* untuk salah satu replikasi, yaitu untuk replikasi pertama untuk model regresi  $\eta_{21}$ .

**Tabel 4.8** Hasil Uji *Glejser* Model Regresi  $\eta_{21}$ 

Variabel	Koefisien	T	P-value
<b>Constant</b>	0,0000	-1,06	0,400
<b>X<sub>1</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000
<b>X<sub>2</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000
<b>X<sub>3</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000
<b>X<sub>1</sub>*X<sub>1</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000
<b>X<sub>2</sub>*X<sub>2</sub></b>	0,0000	0,00	1,000
<b>X<sub>3</sub>*X<sub>3</sub></b>	-0,0000	-0,00	1,000

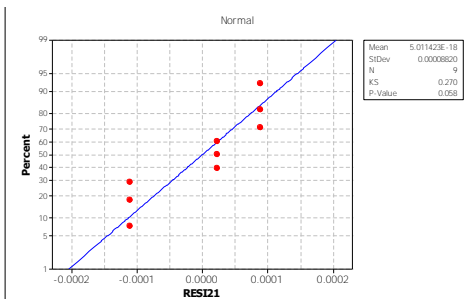
Selanjutnya melakukan pengujian asumsi independen. Pengujian asumsi independen dilakukan secara visual dengan melihat plot *Autocorrelation Function* (ACF). Berikut merupakan plot ACF dari residual. Apabila semua lag berada pada batas signifikan maka dapat disimpulkan bahwa asumsi independen terpenuhi. Pada 3 replikasi yang dilakukan untuk respon *setting time* awal, didapatkan model regresi yang ketiganya memenuhi asumsi independen (Lampiran 14).

**Gambar 4.3** Asumsi Independen untuk Respon  $\eta_{21}$ 

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa tidak terdapat nilai autokorelasi yang keluar dari batas kritis sehingga dapat disimpulkan bahwa residual antar pengamatan tidak signifikan. Hal ini membuktikan bahwa asumsi residual independen terpenuhi.

Dilakukan pengujian *Kolmogorov-Smirnov* untuk melihat apakah residual berdistribusi normal. Statistik Uji *Kolmogorov-Smirnov* *p-value* dibandingkan dengan tingkat signifikansi  $\alpha$  (5%). Berdasarkan *output* pada Lampiran 15 memperoleh

kesimpulan bahwa residual pada model regresi *setting time* awal untuk 3 replikasi telah memenuhi asumsi residual berdistribusi normal. Gambar 4.4 berikut merupakan probabilitas *plot* untuk respon  $\eta_{21}$ .



Gambar 4.4 Probabilitas *Plot* Residual untuk Respon  $\eta_{21}$

### 4.3 Penentuan Level Optimal dengan Fungsi *Desirability* dan Regresi *Fuzzy*

Penentuan level optimal dengan fungsi *desirability* digunakan untuk memaksimumkan nilai respon kuat tekan dan *setting time* awal pada semen PPC secara bersamaan. Sebelumnya dilakukan perhitungan terhadap nilai prediksi dari masing-masing respon dengan menggunakan model regresi *fuzzy*. Model regresi *fuzzy* merupakan model regresi konvensional yang telah terpilih untuk respon  $\eta_1$  maupun  $\eta_2$ . Berikut merupakan nilai koefisien parameter regresi *fuzzy* untuk respon  $\eta_1$  yaitu kuat tekan semen PPC yang didapatkan dari parameter regresi dengan respon SNR kuat tekan 28 hari dengan replikasi sebanyak 3 kali.

Tabel 4.9 Koefisien Parameter Regresi Respon Kuat Tekan 28 Hari

	$b_0$	$b_{11}$	$b_2$	$b_3$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$\eta_{11}$	50,85	0,109	-0,526	-0,930	0,317	-0,038	-1,331
$\eta_{12}$	48,98	-0,044	-0,330	-1,2590	1,2647	0,502	-0,767
$\eta_{13}$	51,45	-0,242	-0,522	-0,981	-0,674	0,118	-1,132

Nilai pada Tabel 4.9 di atas, selanjutnya dihitung nilai koefisien persamaan regresi *fuzzy* menggunakan Persamaan 2.14. Sebelum-



nya dihitung nilai  $b^m$  dan  $s$  dan didapatkan hasil sebagai berikut untuk masing-masing level.

**Tabel 4.10** Estimasi Parameter Regresi *Fuzzy* pada Respon Kuat Tekan 28 Hari

	$b_0$	$b_{11}$	$b_2$	$b_3$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$b^{m(1)}$	50,424	-0,06	-0,459	-1,057	0,303	0,194	-1,077
$s$	1,288	0,18	0,112	0,177	0,969	0,278	0,286
$b^{l(1)}$	49,136	-0,24	-0,571	-1,234	-0,667	-0,084	-1,363
$b^{m(1)}$	50,424	-0,06	-0,459	-1,057	0,303	0,194	-1,077
$b^{u(1)}$	51,713	0,12	-0,347	-0,880	1,272	0,472	-0,791

Berdasarkan Tabel 4.10, maka persamaan regresi *fuzzy* untuk respon kuat tekan 28 hari adalah sebagai berikut.

1. Model untuk level *lower*

$$\eta_1^l = 49,136 - 0,24X_1 - 0,571X_2 - 1,234X_3 - 0,667X_1X_1 - 0,084X_2X_2 - 1,363X_3X_3$$

2. Model untuk level *mean*

$$\eta_1^m = 50,424 - 0,06X_1 - 0,459X_2 - 1,057X_3 + 0,303X_1X_1 + 0,194X_2X_2 - 1,077X_3X_3$$

3. Model untuk level *upper*

$$\eta_1^u = 51,713 + 0,12X_1 - 0,347X_2 - 0,880X_3 + 1,272X_1X_1 + 0,472X_2X_2 - 0,791X_3X_3$$

Selanjutnya mencari parameter regresi *fuzzy* untuk respon *setting time* awal. Tabel 4.11 berikut merupakan nilai koefisien regresi dari perhitungan sebelumnya.

**Tabel 4.11** Koefisien Parameter Regresi Respon *Setting Time* Awal

	$b_0$	$b_{11}$	$b_2$	$b_3$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$\eta_{21}$	$2,10 \times 10^{-2}$	$8,51 \times 10^{-5}$	$7,72 \times 10^{-5}$	$-3,27 \times 10^{-4}$	$1,23 \times 10^{-4}$	$-3,20 \times 10^{-4}$	$-2,12 \times 10^{-4}$
$\eta_{22}$	$2,13 \times 10^{-2}$	$-7,69 \times 10^{-5}$	$-2,52 \times 10^{-4}$	$-1,70 \times 10^{-5}$	$3,34 \times 10^{-4}$	$-6,10 \times 10^{-4}$	$-5,52 \times 10^{-4}$
$\eta_{23}$	$2,13 \times 10^{-2}$	$-1,27 \times 10^{-4}$	$-1,79 \times 10^{-4}$	$6,62 \times 10^{-5}$	$3,92 \times 10^{-4}$	$-5,63 \times 10^{-4}$	$-5,67 \times 10^{-4}$

Tabel 4.11 merupakan nilai estimasi parameter yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai koefisien persamaan regresi *fuzzy* dengan menggunakan Persamaan 2.14. Nilai-nilai estimasi parameter pada masing-masing replikasi selanjutnya digunakan untuk membentuk satu model regresi *fuzzy* untuk model *setting time* awal.

**Tabel 4.12** Estimasi Parameter Regresi *Fuzzy* pada Respon *Setting Time* Awal

	$b_0$	$b_{11}$	$b_2$	$b_3$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$	$b_{11}$
$b^{m(2)}$	$-2,12 \times 10^{-2}$	$-3,97 \times 10^{-5}$	$-1,18 \times 10^{-4}$	$-9,27 \times 10^{-5}$	$2,83 \times 10^{-4}$	$-4,98 \times 10^{-4}$	$-4,44 \times 10^{-4}$	$2,83 \times 10^{-4}$
$s$	$1,77 \times 10^{-4}$	$1,11 \times 10^{-4}$	$1,73 \times 10^{-4}$	$2,07 \times 10^{-4}$	$1,42 \times 10^{-4}$	$1,56 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,42 \times 10^{-4}$
$b^{l(2)}$	$-2,14 \times 10^{-2}$	$-1,51 \times 10^{-4}$	$-2,91 \times 10^{-4}$	$-3,00 \times 10^{-4}$	$1,41 \times 10^{-4}$	$-6,54 \times 10^{-4}$	$-6,44 \times 10^{-4}$	$1,41 \times 10^{-4}$
$b^{m(2)}$	$-2,12 \times 10^{-2}$	$-3,97 \times 10^{-5}$	$-1,18 \times 10^{-4}$	$-9,27 \times 10^{-5}$	$2,83 \times 10^{-4}$	$-4,98 \times 10^{-4}$	$-4,44 \times 10^{-4}$	$2,83 \times 10^{-4}$
$b^{u(2)}$	$-2,10 \times 10^{-2}$	$7,12 \times 10^{-5}$	$5,50 \times 10^{-5}$	$1,15 \times 10^{-4}$	$4,25 \times 10^{-4}$	$-3,42 \times 10^{-4}$	$-2,43 \times 10^{-4}$	$4,25 \times 10^{-4}$

Berdasarkan nilai-nilai pada Tabel 4.12, maka model persamaan regresi *fuzzy* untuk respon *setting time* awal adalah sebagai berikut.

1. Model untuk *lower*

$$\eta_2^l = -0,021386 - 0,00015067X_1 - 0,000291X_2 - 0,0003002X_3 \\ + 0,000141X_1X_2 - 0,000654X_2X_3 - 0,000644X_3X_3$$

2. Model untuk *mean*

$$\eta_2^m = -0,021209 - 0,00003971X_1 - 0,000118X_2 - 0,0000927X_3 \\ + 0,000283X_1X_2 - 0,000498X_1X_3 - 0,000444X_2X_3$$

3. Model untuk *upper*

$$\eta_2^u = -0,021032 + 0,00007124X_1 + 0,000055X_2 + 0,0001147X_3 \\ + 0,000425X_1X_2 - 0,000342X_1X_3 - 0,000243X_2X_3$$

Langkah selanjutnya yaitu menentukan level *fuzzy* optimum. Level *fuzzy* optimum ditentukan berdasarkan level optimum yang diperoleh menggunakan metode Taguchi (Tabel 4.1 dan Tabel 4.2). Perhitungan dilakukan dengan cara serupa yaitu menggunakan persamaan 2.14 namun parameter diganti dengan level faktor yang telah didapatkan nilai level optimalnya dengan hasil sebagai berikut.

**Tabel 4.13** Level Faktor *Fuzzy* Optimum Respon Kuat Tekan 28 Hari

	$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{31}$
$\eta_{11}$	1	-1	0
$\eta_{12}$	-1	-1	-1
$\eta_{13}$	0	-1	0
$X^{m(1)}$	0	-1	0
$s$	1	0	1
$X^{l(1)}$	-1	-1	-1
$X^{m(1)}$	0	-1	0
$X^{u(1)}$	1	-1	1

Selanjutnya untuk respon *setting time* awal, berikut merupakan level *fuzzy* optimum.

**Tabel 4.14** Level Faktor *Fuzzy* Optimum Respon *Setting Time* Awal

	$X_{12}$	$X_{22}$	$X_{32}$
$\eta_{21}$	0	-1	1
$\eta_{22}$	-1	-1	1
$\eta_{23}$	-1	-1	1
$X^{m(2)}$	-1	-1	1
$s$	1	0	0
$X^{l(2)}$	-2	-1	1
$X^{m(2)}$	-1	-1	1
$X^{u(2)}$	0	-1	1

Berdasarkan Tabel 4.13 dan 4.14 dapat dituliskan level *fuzzy* optimum masing-masing respon yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} X_{11} &= (-1; 0; 1) \\ X_{21} &= (-1; -1; -1) \\ X_{31} &= (-1; 0; 1) \\ X_{12} &= (-2; -1; 0) \\ X_{22} &= (-1; -1; -1) \\ X_{32} &= (1; 1; 1) \end{aligned}$$

Level *fuzzy* optimum berdasarkan persamaan di atas dapat ditulis menjadi  $\tilde{X}^{(1)} = (X^{l(1)}; X^{m(1)}; X^{u(1)})$  untuk respon kuat tekan 28 hari dan  $\tilde{X}^{(2)} = (X^{l(2)}; X^{m(2)}; X^{u(2)})$  untuk respon *setting time* awal.

Level *fuzzy* optimum respon kuat tekan 28 hari disubstitusikan ke dalam model regresi dari masing-masing respon. Hasil substitusi tersebut kemudian dituliskan dalam matrik *pay-off* respon dengan perhitungan sebagai berikut.

Level *lower* dengan level *fuzzy* optimum yaitu  $X^{l(1)} = (-1; -1; -1)$ .

$$\begin{aligned} \eta_1^l &= 49,136 - 0,24(-1) - 0,571(-1) - 1,234(-1) - 0,667(-1)(-1) \\ &\quad - 0,084(-1)(-1) - 1,363(-1)(-1) \\ &= 49,18521 \\ \eta_2^l &= -0,021386 - 0,00015067(-1) - 0,000291(-1) - 0,0003002(-1) \\ &\quad + 0,000141(-1)(-1) - 0,000654(-1)(-1) \\ &\quad - 0,000644(-1)(-1) \\ &= -0,021801 \end{aligned}$$

Level *mean* dengan level *fuzzy* optimum yaitu  $X^{m(1)} = (0; -1; 0)$ .

$$\begin{aligned}\eta_1^m &= 50,424 - 0,06(0) - 0,459(-1) - 1,057(0) + 0,303(0)(0) \\ &\quad + 0,194(-1)(-1) - 1,077(0)(0) \\ &= 51,310333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_2^m &= -0,021209 - 0,00003971(0) - 0,000118(-1) - 0,0000927(0) \\ &\quad + 0,000283(0)(-1) - 0,000498(0)(0) \\ &\quad - 0,000444(-1)(0) \\ &= -0,021091\end{aligned}$$

Level *upper* dengan level *fuzzy* optimum yaitu  $X^{u(1)} = (1; -1; 0)$ .

$$\begin{aligned}\eta_1^u &= 51,713 + 0,12(1) - 0,347(-1) - 0,880(0) + 1,272(1)(1) \\ &\quad + 0,472(-1)(-1) - 0,791(0)(0) \\ &= 53,65902\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_2^u &= -0,021032 + 0,00007124(1) + 0,000055(-1) + 0,0001147(0) \\ &\quad + 0,000425(1)(-1) - 0,000342(1)(0) \\ &\quad - 0,000243(-1)(0) \\ &= -0,021440\end{aligned}$$

Selanjutnya level *fuzzy* optimum pada respon *setting time* awal disubstitusikan ke dalam persamaan regresi *fuzzy* dan didapatkan nilai sebagai berikut.

Level *lower* dengan level *fuzzy* optimum yaitu  $X^{l(2)} = (-2; -1; 1)$ .

$$\begin{aligned}\eta_1^l &= 49,136 - 0,24(-2) - 0,571(-1) - 1,234(1) - 0,667(-2)(-2) \\ &\quad - 0,084(-1)(-1) - 1,363(1)(1) \\ &= 44,82977\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_2^l &= -0,021386 - 0,00015067(-2) - 0,000291(-1) - 0,0003002(1) \\ &\quad + 0,000141(-2)(-2) - 0,000654(-1)(-1) \\ &\quad - 0,000644(1) \\ &= -0,021828\end{aligned}$$

Level *mean* dengan level *fuzzy* optimum yaitu  $X^{m(2)} = (-1; -1; 1)$ .

$$\begin{aligned}\eta_1^m &= 50,424 - 0,06(-1) - 0,459(-1) - 1,057(1) + 0,303(-1)(-1) \\ &\quad + 0,194(-1)(-1) - 1,077(1)(1) \\ &= 49,30597\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_2^m &= -0,021209 - 0,00003971(-1) - 0,000118(-1) - 0,0000927(1) \\ &\quad + 0,000283(-1)(-1) - 0,000498(-1)(1) \\ &\quad - 0,000444(-1)(1) \\ &= -0,0199199\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Level } upper \text{ dengan level } fuzzy \text{ optimum yaitu } X^{u(2)} = (0; -1; 1) . \\
\eta_1^u &= 51,713 + 0,12X_1 - 0,347X_2 - 0,880X_3 + 1,272X_1X_1 + 0,472X_2X_2 \\
& \quad - 0,791X_3X_3 \\
&= 50,86154 \\
\eta_2^u &= -0,021032 + 0,00007124(0) + 0,000055(-1) + 0,0001147(1) \\
& \quad + 0,000425(0)(-1) - 0,000342(0)(1) \\
& \quad - 0,000243(-1)(1) \\
&= -0,020729
\end{aligned}$$

Nilai-nilai yang didapatkan berdasarkan perhitungan level *fuzzy* optimum selanjutnya dituliskan dalam tabel matriks *pay off* seperti pada Tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Matriks *Pay-off* untuk Nilai Prediksi Respon

	$\tilde{\eta}_1(X)$	$\tilde{\eta}_2(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	(49,19;51,31;53,66)	(-0,021801;-0,021091;-0,021440)
$\tilde{X}^{(2)}$	(44,83;49,31;50,86)	(-0,021828;-0,019919;-0,020729)

Langkah berikutnya yaitu membentuk matriks *pay-off* yang didasarkan nilai level faktor *fuzzy* optimum yang dihubungkan dengan nilai *desirability*. Fungsi *desirability* digunakan untuk optimasi multirespon. Pada kasus respon berupa nilai SNR ratio maka fungsi *desirability* yang digunakan yaitu *larger the better* sesuai dengan Persamaan 2.19. Batas-batas nilai *desirability* yang digunakan yaitu berdasarkan ketetapan perusahaan yaitu minimal 330 kg/cm<sup>2</sup> dan batas maksimalnya yaitu 420 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai tersebut kemudian ditransformasi dalam SNR ratio. Berikut merupakan batas *desirability* untuk kuat tekan 28 hari.

$$\tilde{d}_1(\tilde{\eta}_1(X)) = \begin{cases} 0 & \tilde{\eta}_1 < 50 \\ \left[ \frac{\tilde{\eta}_1(X) - 50}{52 - 50} \right] & 50 \leq \tilde{\eta}_1 < 52 \\ 1 & \tilde{\eta}_1 \geq 52 \end{cases}$$

Selanjutnya batas-batas nilai *desirability* untuk *setting time* awal yaitu berdasarkan kriteria perusahaan yaitu batas minimal 180 menit dan maksimal 240 menit. Nilai tersebut kemudian di transformasi berdasarkan karakteristik kemudian didapatkan batasan untuk nilai *desirability* sebagai berikut.

$$\tilde{d}_2(\tilde{\eta}_2(X)) = \begin{cases} 0 & \tilde{\eta}_2 < (-0,02217) \\ \left[ \frac{\tilde{\eta}_2(X) - (-0,02217)}{(-0,02101) - (-0,02217)} \right] & (-0,02217) \leq \tilde{\eta}_2 < (-0,02101) \\ 1 & \tilde{\eta}_2 \geq (-0,02101) \end{cases}$$

Nilai-nilai batas *desirability* yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai *desirability* individu berdasarkan nilai prediksi yang didapatkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.16 merupakan nilai *desirability* individu yang didapatkan.

**Tabel 4.16** Matriks *Pay-off* untuk Nilai *Desirability* Prediksi Respon

	$\tilde{d}_1(X)$	$\tilde{d}_2(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	(-0,405;0,655;1,680)	(0,3181;0,9317;0,6293)
$\tilde{X}^{(2)}$	(-2,585;-0,345;0,43)	(0,2948;1,9405;1,2422)

Berdasarkan matriks *pay-off* nilai *desirability* ditentukan *upper limit* sebagai berikut.

$$\tilde{U}_1 = (U_1^l, U_1^m, U_1^u) = \tilde{d}_{11} = (-0,4; 0,6; 1,7)$$

$$\tilde{U}_2 = (U_2^l, U_2^m, U_2^u) = \tilde{d}_{22} = (0,3; 1,9; 1,2)$$

dan *lower limit*

$$\tilde{L}_1 = (L_1^l, L_1^m, L_1^u) = (-2,8; -0,3; 0,43)$$

$$\tilde{L}_2 = (L_2^l, L_2^m, L_2^u) = (0,2; 0,9; 0,6)$$

Selain menghitung *desirability*, perlu dihitung pula matriks *pay-off* untuk nilai deviasi. Tujuannya yaitu untuk memperoleh nilai-nilai yang dapat digunakan dalam meminimumkan deviasi.

Berikut merupakan *pay-off* untuk nilai deviasi dan persamaan deviasi untuk masing-masing respon.

$$D_1(X) = 1,288 + 0,18X_1 + 0,112X_2 + 0,177X_3 + 0,969X_1X_1 + 0,278X_2X_2 + 0,286X_3X_3$$

$$D_2(X) = 0,000177 + 0,00011095X_1 + 0,000173X_2 + 0,0002075X_3 + 0,000142X_1X_2 + 0,000156X_1X_3 + 0,0002X_2X_3$$

**Tabel 4.17** Matriks *Pay-off* untuk Nilai Deviasi

	$\tilde{D}_1(X)$	$\tilde{D}_2(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	(2,36;2,36;2,36)	(0,00018;0,00018);(0,00018)
$\tilde{X}^{(2)}$	(2,098;2,098;2,098)	(-0,00024;-0,00024;-0,00024)

Tabel 4.17 merupakan matriks *pay-off* deviasi yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai  $\tilde{P}_1$ ,  $\tilde{P}_2$ ,  $\tilde{Q}_1$ , dan  $\tilde{Q}_2$ .

$$\tilde{P}_1 = (P_1^l, P_1^m, P_1^u) = (2,098; 2,098; 2,098)$$

$$\tilde{P}_2 = (P_2^l, P_2^m, P_2^u) = (-0,00024; -0,00024; -0,00024)$$

$$\tilde{Q}_1 = (Q_1^l, Q_1^m, Q_1^u) = (2,36; 2,36; 2,36)$$

$$\tilde{Q}_2 = (Q_2^l, Q_2^m, Q_2^u) = (0,00018; 0,00018; 0,00018)$$

Model akhir yang diperoleh merupakan model 2 objektif. Model 2 objektif tersebut adalah memaksimumkan *desirability* dan meminimumkan deviasi, yang ditunjukkan dengan:

$$\text{Model 1: } \text{Max}\{\tilde{d}_1(X), \tilde{d}_2(X)\}$$

$$\text{Model 2: } \text{Min}\{\tilde{D}_1(X), \tilde{D}_2(X)\}$$

Untuk masing-masing respon didapatkan:

$$\tilde{d}_1(X) = (d_1^l, d_1^m, d_1^u) = (-0,5162; 0,29272; 1,1012)$$

$$\tilde{d}_2(X) = (d_2^l, d_2^m, d_2^u) = (0,2637; 0,8928; 1,5218)$$

$$\tilde{D}_1(X) = (D_1^l, D_1^m, D_1^u) = (2,085; 2,229; 2,373)$$

$$\tilde{D}_2(X) = (D_2^l, D_2^m, D_2^u) = (-0,00026; -0,000030; 0,00020)$$

Model tersebut kemudian dikonversikan menjadi satu fungsi objektif dengan menggunakan derajat kepuasan *desirability* ( $\tilde{S}_j(X)$ ) dan *robustness* ( $\tilde{T}_j(X)$ ). Estimasi nilai ( $\tilde{S}_j(X)$ ) dan ( $\tilde{T}_j(X)$ ) diperoleh berdasarkan Persamaan (2.24) dan (2.25) dengan menggunakan nilai-nilai berikut.

$$\tilde{U}_1 = (-0,4; 0,6; 1,7), \tilde{L}_1 = (-2,8; -0,3; 0,43)$$

$$\tilde{U}_2 = (0,3; 1,9; 1,2), \tilde{L}_2 = (0,2; 0,9; 0,6)$$

dan

$$\tilde{P}_1 = (2,098; 2,098; 2,098),$$

$$\tilde{P}_2 = (-0,00024; -0,00024; -0,00024),$$

$$\tilde{Q}_1 = (2,36; 2,36; 2,36)$$

$$\tilde{Q}_2 = (0,00018; 0,00018; 0,00018)$$

Apabila dituliskan dalam bentuk model, modelnya berbeda dengan model sebelumnya, yaitu sama-sama memaksimumkan fungsi  $\tilde{S}_j(X)$  dan  $\tilde{T}_j(X)$ .

$$\text{Model 1} \quad : \text{Max}\{\tilde{S}_1(X), \tilde{S}_2(X)\}$$

$$\text{Model 2} \quad : \text{Max}\{\tilde{T}_1(X), \tilde{T}_2(X)\}$$

Untuk menggabungkan kedua model menjadi 1 model objektif, operator *Max-Min Zimmerman* diaplikasikan. Dasar yang digunakan adalah memaksimumkan derajat kepuasan (*degree of satisfaction*) minimum dari kedua model objektif.

Model 1 :  $Max \tilde{V}_1$

Model 2 :  $Max \tilde{V}_2$

$$\tilde{V}_1 = Min\{\tilde{S}_1(X), \tilde{S}_2(X)\}$$

$$\tilde{V}_2 = Min\{\tilde{T}_1(X), \tilde{T}_2(X)\}$$

$w_1$  = bobot *desirability* yang digunakan untuk  $\tilde{V}_1$

$w_2$  = bobot *desirability* yang digunakan untuk  $\tilde{V}_2$

Pada penelitian ini peneliti menggunakan bobot *desirability* sebesar  $1/2$  karena konstrain yang digunakan adalah  $w_1 + w_2 = 1$ . Sehingga model akhir yang dihasilkan ada 3, yaitu model *lower*, model *mean*, dan model *upper*.

Model *lower*:

$$Max 0,5 V_1^l + 0,5 V_2^l$$

Dengan batasan,

$$d_1^l(X) - V_1^l(-0,4 - (-2,8)) \geq -2,8$$

$$d_2^l(X) - V_1^l(0,3 - 0,2) \geq 0,2$$

$$D_1^l(X) + V_2^l(2,36 - 2,098) \leq 2,36$$

$$D_2^l(X) + V_2^l(0,00018 - (-0,00024)) \leq 0,00018$$

$$w_1 + w_2 = 1$$

$$0 \leq V_1^l, V_2^l \leq 1$$

$$X \in [-1; 1]$$

Model *mean*:

$$Max 0,5 V_1^m + 0,5 V_2^m$$

Dengan batasan,

$$d_1^m(X) - V_1^m(0,6 - (-0,3)) \geq -0,3$$

$$d_2^m(X) - V_1^m(1,9 - 0,9) \geq 0,9$$

$$D_1^m(X) + V_2^m(2,36 - 2,098) \leq 2,36$$

$$D_2^m(X) + V_2^m(0,00018 - (-0,00024)) \leq 0,00018$$

$$w_1 + w_2 = 1$$

$$0 \leq V_1^m, V_2^m \leq 1$$

$$X \in [-1; 1]$$

Model *upper*:

$$Max 0,5 V_1^u + 0,5 V_2^u$$

Dengan batasan,

$$d_1^u(X) - V_1^u(1,7 - 0,43) \geq 0,43$$

$$d_2^u(X) - V_1^u(1,2 - 0,6) \geq 0,6$$

$$D_1^u(X) + V_2^u(2,36 - 2,098) \leq 2,36$$

$$D_2^u(X) + V_2^u(0,00018 - (-0,00024)) \leq 0,00018$$

$$w_1 + w_2 = 1$$



$$0 \leq V_1^u; V_2^u \leq 1$$

$$X \in [-1; 1]$$

Penyelesaian model objektif dilakukan dengan menggunakan prinsip *programming*. Metode yang digunakan yaitu GRG (*Generalized Reduced Gradient*) Nonlinier dengan menggunakan *software solver* pada *Microsoft Excel*. Hasil solver dapat dilihat pada Lampiran 16. Hasil optimasi untuk model *lower* ditampilkan dalam Tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Level Faktor *Fuzzy Optimum Model Lower*

Faktor	Faktor	Nilai Kode	Nilai Sebenarnya
X <sub>1</sub>	SO <sub>3</sub>	-0,3907	3,327% - 4,402%
X <sub>2</sub>	<i>Insoluble</i>	-0,5545	10,82% - 19,84%
X <sub>3</sub>	LOI	-0,5187	1,75% - 5,94%

Dengan mensubstitusikan nilai level-level optimum ke dalam model yang terbentuk untuk level *lower*, maka didapatkan nilai prediksi  $\eta_1^l$  sebesar 49,692. Jika nilai tersebut dikembalikan kedalam nilai asli kuat tekan maka didapatkan nilai sebesar 305,22 kg/cm<sup>2</sup>. Selanjutnya untuk prediksi  $\eta_2^l$  didapatkan nilai sebesar -0,0213. Jika nilai tersebut dikembalikan kedalam nilai asli *setting time* awal maka akan didapatkan nilai sebesar 219 menit.

Selanjutnya dilakukan prediksi terhadap nilai respon berdasarkan model *mean*. Hasil optimasi untuk model *mean* ditampilkan dalam Tabel 4.19.

**Tabel 4.19** Level Faktor *Fuzzy Optimum Model Mean*

Faktor	Faktor	Nilai Kode	Nilai Sebenarnya
X <sub>1</sub>	SO <sub>3</sub>	-0,5252	2,47% - 3,27%
X <sub>2</sub>	<i>Insoluble</i>	-1,4718	4,07% - 7,47%
X <sub>3</sub>	LOI	0,5819	2,33% - 3,20%

Berdasarkan nilai level optimum yang didapatkan pada model *mean*, selanjutnya dilakukan prediksi respon  $\eta_1^m$  dan  $\eta_2^m$ . Dengan mensubstitusikan level optimum kedalam model b didapatkan nilai prediksi untuk respon  $\eta_1^m$  sebesar 50,655. Apabila nilai tersebut dikembalikan kedalam nilai asli, maka

didapatkan nilai kuat tekan sebesar 341 kg/cm<sup>2</sup>. Selanjutnya didapatkan nilai prediksi  $\eta_2^m$  sebesar -0,0203 yang apabila dikembalikan kedalam nilai asli didapatkan *setting time* awal sebesar 289 menit.

Kemudian yang terakhir merupakan prediksi respon berdasarkan model *upper*. Hasil optimasi untuk model *upper* ditampilkan dalam Tabel 4.20.

**Tabel 4.20** Level Faktor *Fuzzy* Optimum Model *Upper*

Faktor	Faktor	Nilai Kode	Nilai Sebenarnya
X <sub>1</sub>	SO <sub>3</sub>	0,1305	0,245% - 0,2871%
X <sub>2</sub>	<i>Insoluble</i>	-0,3711	16,17% - 29,64%
X <sub>3</sub>	LOI	0,3461	1,38% - 1,90%

Hasil substitusi level-level optimum pada Tabel 4.26 kedalam model *upper* didapatkan hasil bahwa nilai prediksi respon  $\eta_1^u$  sebesar 52,154 yang apabila dikembalikan ke nilai asli kuat tekan yaitu sebesar 405,23 kg/cm<sup>2</sup>. Selanjutnya untuk prediksi respon  $\eta_2^u$  yaitu sebesar -0,02111 yang kemudian dikembalikan ke nilai asli *setting time* awal sebesar 233 menit.

Berdasarkan nilai prediksi respon  $\eta_1$  dan  $\eta_2$  pada masing-masing model *lower*, *mean*, dan *upper* didapatkan kesimpulan bahwa model *upper* merupakan model yang terbaik. Model *upper* merupakan model dimana nilai prediksi respon yang didapatkan untuk kuat tekan yaitu sebesar 405,23 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai prediksi respon untuk *setting time* awal sebesar 233 menit. Nilai prediksi tersebut merupakan nilai yang masih berada dalam batas yang ditetapkan oleh perusahaan.

Jika dibandingkan dengan kadar kandungan SO<sub>3</sub>, kadar *insoluble*, dan kadar LOI yang digunakan perusahaan sebelumnya yaitu dengan rata-rata kadar SO<sub>3</sub> sebesar 1,82%, kadar *Insoluble* sebesar 11,52%, dan kadar LOI sebesar 3,40%, didapatkan hasil respon yang lebih memenuhi sifat karakteristik kualitas semen PPC. Yaitu untuk kuat tekan semen *larger the better* dan untuk *setting time* semen yaitu *smaller the better*. Pada komposisi yang digunakan perusahaan, rata-rata kuat tekan 28 hari yang

dihasilkan yaitu sebesar 323 kg/cm<sup>2</sup> dan rata-rata *setting time* awal sebesar 236 menit. Tabel 4.21 berikut merupakan perbandingan rata-rata kadar komposisi yang digunakan di perusahaan dengan hasil optimasi Taguchi.

**Tabel 4.21** Perbandingan Level Faktor Optimum

	Kadar SO <sub>3</sub> (%)	Kadar <i>Insoluble</i> (%)	Kadar LOI (%)	KT (kg/cm <sup>2</sup> )	<i>Setting Time</i> (menit)
Komposisi Perusahaan	1,82	11,52	3,40	323	236
Optimasi Taguchi	0,245- 0,2871	16,17-29,64	1,38-1,90	405,23	233

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan yaitu:

Model akhir yang didapat merupakan model dengan nilai prediksi respon yang mendekati dengan batas spesifikasi perusahaan, yaitu prediksi untuk respon kuat tekan 28 hari yang maksimal sebesar 405,23 kg/cm<sup>2</sup> dan prediksi untuk respon *setting time* awal yang minimal sebesar 233 menit. Nilai prediksi tersebut didapatkan dengan level faktor yaitu campuran kadar SO<sub>3</sub> sebesar 0,245% - 0,2871%, kadar *insoluble* sebesar 16,16% - 29,64%, dan kadar LOI sebesar 1,38% - 1,90%.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan serta kesimpulan yang didapatkan, maka disarankan bagi perusahaan untuk mempertimbangkan hasil penelitian yang mungkin dapat digunakan untuk *setting* level dalam proses pembuatan semen PPC selanjutnya. Kemudian bagi penelitian selanjutnya yaitu metode optimasi dengan menggunakan fungsi *desirability* regresi *fuzzy*, dalam pembentukan model regresi harus dicari model terbaik yang memenuhi semua asumsi sehingga taksiran nilai parameter tidak bias.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Refaie, Abbas, dkk. (2013). Optimization of Multiple Responses in the Taguchi Method Using Desirability Function and Fuzzy Regression. Hongkong: Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists Vol.II IMECS 2013, March 13-15.
- Azmi, R. (2008). *Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Oleh P2K3 Untuk Meminimalkan Kecelakaan Kerja Di PT Wijaya Karya Beton Tahun 2008*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974) “Robust Test for The Equality of Variances”. Journal of the American Statistical Association Vol. 69 No. 346, 364-367.
- Damaris, R.A. (2011). *Optimasi Kuat Tekan dan Daya Serap Air dari Batako yang Menggunakan Bottom Ash dengan Pendekatan Respon Serentak*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Daniel, W.W. (1989). *Statistika Non Parametrik Terapan*. Jakarta: Pt Gramedia.
- Gujarati, D.N. (2006). *Essentials of Econometrics 3rd Edition*. Singapore: McGraw-Hill.
- Montgomery, D.C. (2001). Response Surface Methods. Dalam *Design and Analysis of Experiments 5th edition* (hal. 427-500). USA: John Wiley and Sons.
- Murniati, T, (2015). *Optimasi Taguchi Multirespon Melalui Pendekatan Fungsi Desirability dengan Regresi Fuzzy pada Kasus Kuat Tekan dan Daya Serap Air Produk Batako*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugraha, D.L. (2015). *Optimasi Kuat Tekan dan Waktu Pengikatan Semen PPC dengan Mixture Design di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Park, S.H. (1995). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. Madras: Chapman & Hall.
- Peace, G.S. (1993). *Taguchi Methods A Hands-On Approach*. U.S.A: Addison-Wesley Publishing Company.
- Putri, A.C, & Farida, R. (2016). *Laporan Kerja Praktek di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk Pabrik Tuban*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sunaryo, S. (2012). *Lectures Notes Taguchi Method*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Tanaka, H., S. Uejima, & K. Asai,. (1982). *Linear Regression Analysis with Fuzzy Model*. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics SMC, Vol. 12, pp. 903-907, 1982.
- Vaani, T. & Hameedullah, M. (2005). *Optimization of Control Parameters in Electric Discharge Machining of Hardened Tool Steel with Copper Electroplated Aluminium Electrodes*. No. 110, hal 665-668.
- Wei, W.W. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods 2nd Edition*. USA: Pearson Education, Inc.



**LAMPIRAN 1** Hasil Eksperimen dengan *Orthogonal Array*

Eks	Variabel			Kuat Tekan 28 Hari			Setting Time Awal			St dev Setting Time Replikasi	respon setting time awal		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y <sub>11</sub>	y <sub>12</sub>	y <sub>13</sub>	y <sub>21</sub>	y <sub>22</sub>	y <sub>23</sub>	Standar Deviasi	ybar <sub>(21.22)</sub>	ybar <sub>(21.23)</sub>	ybar <sub>(22.23)</sub>
1	-1	-1	-1	349	383	389	222	216	169	29.023	219	195.5	192.5
2	-1	0	0	372	335	357	244	252	232	10.066	248	238	242
3	-1	1	1	256	256	256	200	200	200	0	200	200	200
4	0	-1	0	366	300	387	233	203	254	25.632	218	243.5	228.5
5	0	0	1	260	224	303	200	207	219	9.609	203.5	209.5	213
6	0	1	-1	325	311	352	243	232	232	6.351	237.5	237.5	232
7	1	-1	1	311	289	285	208	200	218	9.018	204	213	209
8	1	0	-1	347	332	318	275	251	236	19.672	263	255.5	243.5
9	1	1	0	332	332	332	231	231	231	0	231	231	231

## LAMPIRAN 2 Nilai SNR *Ratio* Respon Kuat Tekan 28 Hari

Kuat Tekan						Le- vel	Rata-rata SNR Kuat Tekan ( $X_1$ )			Rata-rata SNR Kuat Tekan ( $X_2$ )			Rata-rata SNR Kuat Tekan ( $X_3$ )		
variabel			Signal to Noise Ratio				$\eta_{\text{bar}_{11}}$	$\eta_{\text{bar}_{12}}$	$\eta_{\text{bar}_{13}}$	$\eta_{\text{bar}_{11}}$	$\eta_{\text{bar}_{12}}$	$\eta_{\text{bar}_{13}}$	$\eta_{\text{bar}_{11}}$	$\eta_{\text{bar}_{12}}$	$\eta_{\text{bar}_{13}}$
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\eta_{11}$	$\eta_{12}$	$\eta_{13}$										
-1	-1	-1	50.86	51.66	51.80	-1	50.14	50.11	50.34	50.66	50.14	50.88	50.63	50.65	50.93
-1	0	0	51.41	50.50	51.05										
-1	1	1	48.16	48.16	48.16										
0	-1	0	51.27	49.54	51.75	0	49.94	48.80	50.77	50.17	49.31	50.24	51.03	50.16	51.08
0	0	1	48.30	47.00	49.63										
0	1	-1	50.24	49.85	50.93										
1	-1	1	49.86	49.22	49.09	1	50.36	50.02	49.86	49.61	49.48	49.84	48.77	48.13	48.96
1	0	-1	50.81	50.42	50.05										
1	1	0	50.42	50.42	50.42										



## LAMPIRAN 4 Alternatif Model Regresi Kuat Tekan $\eta_{11}$

### Model Linier

The regression equation is  
 $\eta_{11} = 50.1 + 0.109 x_1 - 0.526 x_2 - 0.930 x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.1471	0.3122	160.64	0.000
x1	0.1087	0.3823	0.28	0.788
x2	-0.5260	0.3823	-1.38	0.227
x3	-0.9302	0.3823	-2.43	0.059

S = 0.936491    R-Sq = 61.2%    R-Sq(adj) = 38.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	6.9229	2.3076	2.63	0.162
Residual Error	5	4.3851	0.8770		
Total	8	11.3080			

### Model Orde Dua Kuadratik

The regression equation is  
 $\eta_{11} = 50.8 + 0.109 x_1 - 0.526 x_2 - 0.930 x_3 + 0.317 x_1^2 - 0.038 x_2^2 - 1.33 x_3^2$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.8482	0.4980	102.11	0.000
x1	0.1087	0.2305	0.47	0.684
x2	-0.5260	0.2305	-2.28	0.150
x3	-0.9302	0.2305	-4.04	0.056
x1^2	0.3172	0.3993	0.79	0.510
x2^2	-0.0379	0.3993	-0.09	0.933
x3^2	-1.3310	0.3993	-3.33	0.079

S = 0.564638    R-Sq = 94.4%    R-Sq(adj) = 77.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	10.6704	1.7784	5.58	0.160
Residual Error	2	0.6376	0.3188		
Total	8	11.3080			

## Model Orde Dua Interaksi

The regression equation is  
 $\eta_{11} = 50.1 - 0.298 x_1 - 0.803 x_2 - 0.563 x_3 + 0.73 x_1 x_2 - 0.55 x_1 x_3 - 0.81 x_2 x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.1471	0.4425	113.33	0.000
x1	-0.2982	0.8193	-0.36	0.751
x2	-0.8033	0.8193	-0.98	0.430
x3	-0.5628	0.8193	-0.69	0.563
x1*x2	0.735	1.229	0.60	0.611
x1*x3	-0.555	1.229	-0.45	0.696
x2*x3	-0.814	1.229	-0.66	0.576

S = 1.32741    R-Sq = 68.8%    R-Sq(adj) = 0.0%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	7.784	1.297	0.74	0.674
Residual Error	2	3.524	1.762		
Total	8	11.308			

## LAMPIRAN 5 Alternatif Model Regresi Kuat Tekan $\eta_{12}$

### Model Linier

The regression equation is  
 $\eta_{12} = 49.6 - 0.044 x_1 - 0.330 x_2 - 1.26 x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	49.6440	0.3412	145.49	0.000
x1	-0.0444	0.4179	-0.11	0.920
x2	-0.3303	0.4179	-0.79	0.465
x3	-1.2590	0.4179	-3.01	0.030

S = 1.02364 R-Sq = 66.0% R-Sq(adj) = 45.6%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	10.177	3.392	3.24	0.119
Residual Error	5	5.239	1.048		
Total	8	15.417			

### Model Orde Dua Kuadratik

The regression equation is  
 $\eta_{12} = 49.0 - 0.044 x_1 - 0.330 x_2 - 1.26 x_3 + 1.26 x_1^2 + 0.502 x_2^2 - 0.767 x_3^2$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	48.9778	0.3743	130.84	0.000
x1	-0.0444	0.1733	-0.26	0.822
x2	-0.3303	0.1733	-1.91	0.197
x3	-1.2590	0.1733	-7.27	0.018
x1^2	1.2647	0.3001	4.21	0.052
x2^2	0.5016	0.3001	1.67	0.237
x3^2	-0.7671	0.3001	-2.56	0.125

S = 0.424455 R-Sq = 97.7% R-Sq(adj) = 90.7%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	15.0562	2.5094	13.93	0.068
Residual Error	2	0.3603	0.1802		
Total	8	15.4165			

## Model Orde Dua Interaksi

The regression equation is  
 $\eta_{12} = 49.6 + 0.330 x_1 + 0.141 x_2 - 1.41 x_3 - 0.31 x_1 \cdot x_2 + 0.94 x_1 \cdot x_3 + 0.75 x_2 \cdot x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	49.6440	0.4611	107.67	0.000
x1	0.3301	0.8538	0.39	0.736
x2	0.1415	0.8538	0.17	0.884
x3	-1.4121	0.8538	-1.65	0.240
x1*x2	-0.306	1.281	-0.24	0.833
x1*x3	0.943	1.281	0.74	0.538
x2*x3	0.749	1.281	0.58	0.618

S = 1.38329    R-Sq = 75.2%    R-Sq(adj) = 0.7%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	11.590	1.932	1.01	0.575
Residual Error	2	3.827	1.913		
Total	8	15.417			

## LAMPIRAN 6 Alternatif Model Regresi Kuat Tekan $\eta_{13}$

### Model Linier

The regression equation is  
 $\eta_{13} = 50.3 - 0.241 x_1 - 0.522 x_2 - 0.981 x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.3221	0.3017	166.80	0.000
x1	-0.2415	0.3695	-0.65	0.542
x2	-0.5219	0.3695	-1.41	0.217
x3	-0.9813	0.3695	-2.66	0.045

S = 0.905081    R-Sq = 65.5%    R-Sq(adj) = 44.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	7.7623	2.5874	3.16	0.124
Residual Error	5	4.0959	0.8192		
Total	8	11.8581			

### Model Orde Dua Kuadratik

The regression equation is  
 $\eta_{13} = 51.4 - 0.241 x_1 - 0.522 x_2 - 0.981 x_3 - 0.674 x_1^2 + 0.118 x_2^2 - 1.13 x_3^2$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	51.4474	0.4821	106.72	0.000
x1	-0.2415	0.2232	-1.08	0.392
x2	-0.5219	0.2232	-2.34	0.144
x3	-0.9813	0.2232	-4.40	0.048
x1^2	-0.6737	0.3865	-1.74	0.223
x2^2	0.1178	0.3865	0.30	0.789
x3^2	-1.1320	0.3865	-2.93	0.099

S = 0.546605    R-Sq = 95.0%    R-Sq(adj) = 79.8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	11.2606	1.8768	6.28	0.144
Residual Error	2	0.5976	0.2988		
Total	8	11.8581			



## Model Orde Dua Interaksi

The regression equation is  
 $\eta_{13} = 50.3 - 0.836 x_1 - 0.845 x_2 - 0.211 x_3 + 1.54 x_1 \cdot x_2 - 0.645 x_1 \cdot x_3 - 1.19 x_2 \cdot x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.3221	0.2072	242.89	0.000
x1	-0.8364	0.3836	-2.18	0.161
x2	-0.8447	0.3836	-2.20	0.159
x3	-0.2110	0.3836	-0.55	0.637
x1*x2	1.5405	0.5754	2.68	0.116
x1*x3	-0.6454	0.5754	-1.12	0.379
x2*x3	-1.1898	0.5754	-2.07	0.175

S = 0.621543    R-Sq = 93.5%    R-Sq(adj) = 73.9%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	11.0855	1.8476	4.78	0.183
Residual Error	2	0.7726	0.3863		
Total	8	11.8581			

## LAMPIRAN 7 Output Uji *Glejser* Residual Model Kuat Tekan 28 Hari

### Regression Analysis: abs RESI $\eta_{11}$ versus x1, x2, x3, x1<sup>2</sup>, x2<sup>2</sup>, x3<sup>2</sup>

The regression equation is

$$\text{abs RESI } \eta_{11} = 0.236 - 0.000 \text{ x1} + 0.000 \text{ x2} + 0.000 \text{ x3} - 0.000 \text{ x1}^2 + 0.000 \text{ x2}^2 - 0.000 \text{ x3}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.2361	0.2298	1.03	0.412
x1	-0.0000	0.1064	-0.00	1.000
x2	0.0000	0.1064	0.00	1.000
x3	0.0000	0.1064	0.00	1.000
x1 <sup>2</sup>	-0.0000	0.1843	-0.00	1.000
x2 <sup>2</sup>	0.0000	0.1843	0.00	1.000
x3 <sup>2</sup>	-0.0000	0.1843	-0.00	1.000

### Regression Analysis: abs RESI $\eta_{12}$ versus x1, x2, x3, x1<sup>2</sup>, x2<sup>2</sup>, x3<sup>2</sup>

The regression equation is

$$\text{abs RESI } \eta_{12} = 0.178 - 0.0000 \text{ x1} - 0.0000 \text{ x2} + 0.0000 \text{ x3} + 0.000 \text{ x1}^2 + 0.000 \text{ x2}^2 - 0.000 \text{ x3}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.1782	0.1702	1.05	0.405
x1	-0.00000	0.07880	-0.00	1.000
x2	-0.00000	0.07880	-0.00	1.000
x3	0.00000	0.07880	0.00	1.000
x1 <sup>2</sup>	0.0000	0.1365	0.00	1.000
x2 <sup>2</sup>	0.0000	0.1365	0.00	1.000
x3 <sup>2</sup>	-0.0000	0.1365	-0.00	1.000

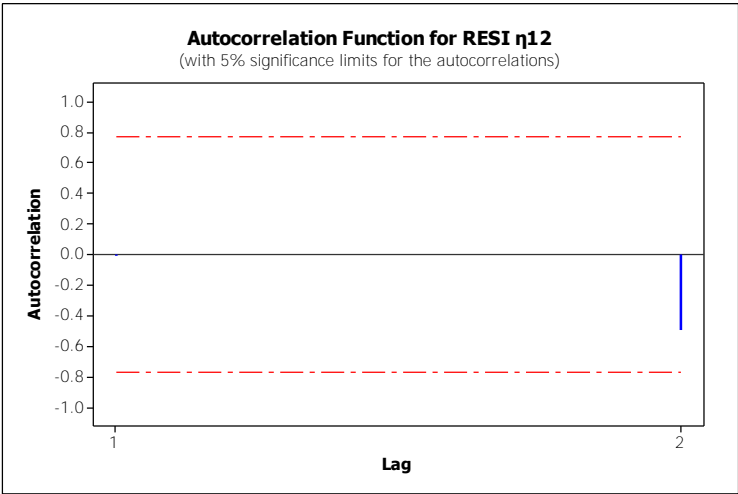
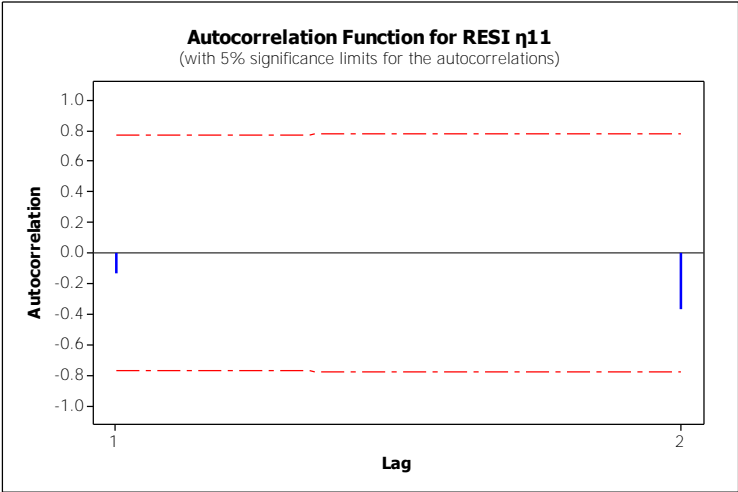
### Regression Analysis: abs RESI $\eta_{13}$ versus x1, x2, x3, x1<sup>2</sup>, x2<sup>2</sup>, x3<sup>2</sup>

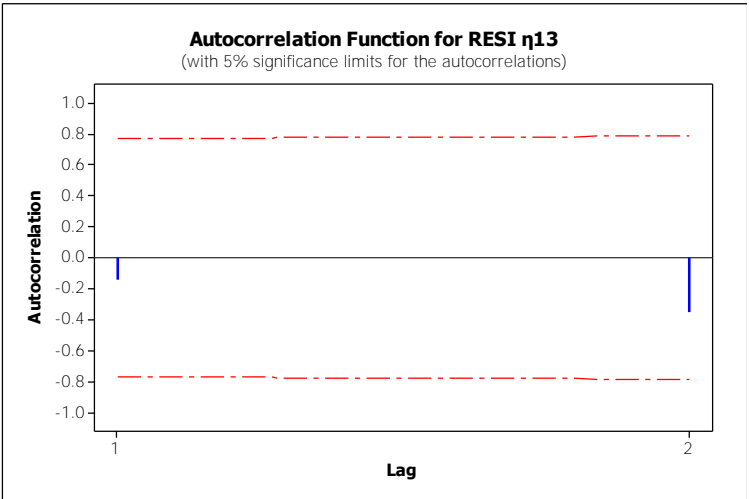
The regression equation is

$$\text{abs RESI } \eta_{13} = 0.222 - 0.000 \text{ x1} - 0.000 \text{ x2} + 0.000 \text{ x3} + 0.000 \text{ x1}^2 - 0.000 \text{ x2}^2 - 0.000 \text{ x3}^2$$

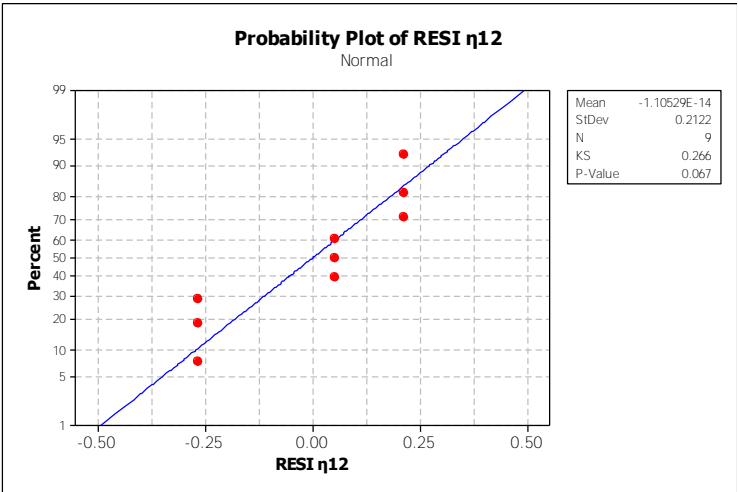
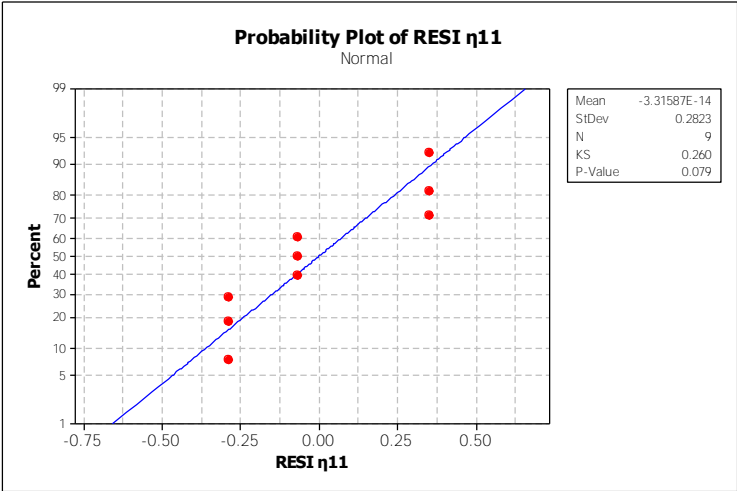
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.2220	0.2448	0.91	0.460
x1	-0.0000	0.1133	-0.00	1.000
x2	-0.0000	0.1133	-0.00	1.000
x3	0.0000	0.1133	0.00	1.000
x1 <sup>2</sup>	0.0000	0.1963	0.00	1.000
x2 <sup>2</sup>	-0.0000	0.1963	-0.00	1.000
x3 <sup>2</sup>	-0.0000	0.1963	-0.00	1.000

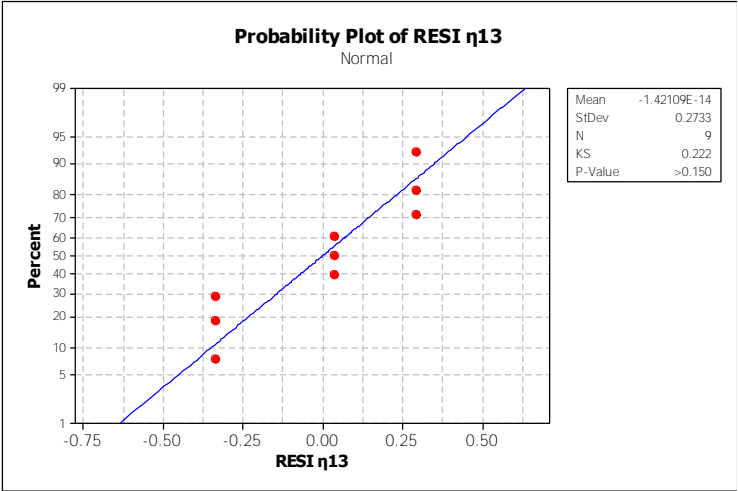
**LAMPIRAN 8** *Output Autocorrelation Function Residual Model*  
Kuat Tekan 28 Hari





**LAMPIRAN 9** *Output* Pengujian Distribusi Normal Residual Respon Kuat Tekan 28 Hari





## LAMPIRAN 10 Alternatif Model Regresi *Setting Time* Awal $\eta_{21}$

### Model Linier

The regression equation is  
 $\text{trans } \eta_{21} = -0.0213 + 0.000085 \text{ x1} + 0.000077 \text{ x2} - 0.000327 \text{ x3}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0212806	0.0000928	-229.39	0.000
x1	0.0000851	0.0001136	0.75	0.488
x2	0.0000772	0.0001136	0.68	0.527
x3	-0.0003274	0.0001136	-2.88	0.035

S = 0.000278308    R-Sq = 65.1%    R-Sq(adj) = 44.2%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	7.22487E-07	2.40829E-07	3.11	0.127
Residual Error	5	3.87277E-07	7.74553E-08		
Total	8	1.10976E-06			

### Model Orde Dua Kuadratik

The regression equation is  
 $\text{trans } \eta_{21} = -0.0210 + 0.000085 \text{ x1} + 0.000077 \text{ x2} - 0.000327 \text{ x3} + 0.000123 \text{ X1}^2$   
 $- 0.000320 \text{ X2}^2 - 0.000212 \text{ X3}^2$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0210074	0.0001556	-135.04	0.000
x1	0.00008506	0.00007201	1.18	0.359
x2	0.00007723	0.00007201	1.07	0.396
x3	-0.00032744	0.00007201	-4.55	0.045
X1^2	0.0001225	0.0001247	0.98	0.430
X2^2	-0.0003201	0.0001247	-2.57	0.124
X3^2	-0.0002123	0.0001247	-1.70	0.231

S = 0.000176396    R-Sq = 94.4%    R-Sq(adj) = 77.6%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	1.04753E-06	1.74589E-07	5.61	0.159
Residual Error	2	6.22311E-08	3.11155E-08		
Total	8	1.10976E-06			

## Model Orde Dua Interaksi

The regression equation is  

$$\text{trans } \eta_{21} = -0.0213 - 0.000052 x_1 - 0.000095 x_2 - 0.000228 x_3 + 0.000199 x_1 x_2 - 0.000345 x_1 x_3 - 0.000275 x_2 x_3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0212806	0.0001150	-185.09	0.000
x1	-0.0000524	0.0002129	-0.25	0.829
x2	-0.0000955	0.0002129	-0.45	0.698
x3	-0.0002278	0.0002129	-1.07	0.397
x1*x2	0.0001993	0.0003193	0.62	0.596
x1*x3	-0.0003454	0.0003193	-1.08	0.392
x2*x3	-0.0002749	0.0003193	-0.86	0.480

S = 0.000344927    R-Sq = 78.6%    R-Sq(adj) = 14.2%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	8.71815E-07	1.45302E-07	1.22	0.515
Residual Error	2	2.37949E-07	1.18974E-07		
Total	8	1.10976E-06			



## LAMPIRAN 11 Alternatif Model Regresi *Setting Time* Awal $\eta_{22}$

### Model Linier

The regression equation is  
 $\text{trans } \eta_{22} = -0.0213 + 0.000199 x_1 + 0.000053 x_2 - 0.000184 x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0212808	0.0001195	-178.15	0.000
x1	0.0001989	0.0001463	1.36	0.232
x2	0.0000530	0.0001463	0.36	0.732
x3	-0.0001842	0.0001463	-1.26	0.264

S = 0.000358370    R-Sq = 41.6%    R-Sq(adj) = 6.6%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	4.57845E-07	1.52615E-07	1.19	0.403
Residual Error	5	6.42144E-07	1.28429E-07		
Total	8	1.09999E-06			

### Model Orde Dua Kuadrat

The regression equation is  
 $\text{trans } \eta_{22} = -0.0208 + 0.000199 x_1 + 0.000053 x_2 - 0.000184 x_3 - 0.000152 X_1^2$   
 $- 0.000247 X_2^2 - 0.000349 X_3^2$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0207821	0.0002991	-69.47	0.000
x1	0.0001989	0.0001385	1.44	0.287
x2	0.0000530	0.0001385	0.38	0.739
x3	-0.0001842	0.0001385	-1.33	0.315
X1^2	-0.0001519	0.0002398	-0.63	0.591
X2^2	-0.0002469	0.0002398	-1.03	0.412
X3^2	-0.0003493	0.0002398	-1.46	0.283

S = 0.000339198    R-Sq = 79.1%    R-Sq(adj) = 16.3%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	8.69878E-07	1.44980E-07	1.26	0.505
Residual Error	2	2.30111E-07	1.15055E-07		
Total	8	1.09999E-06			

## Model Orde Dua Interaksi

The regression equation is  

$$\text{trans } \eta_{22} = -0.0213 - 0.000077 x_1 - 0.000252 x_2 - 0.000017 x_3 + 0.000334 x_1 x_2 - 0.000610 x_1 x_3 - 0.000552 x_2 x_3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0212808	0.0000820	-259.38	0.000
x1	-0.0000769	0.0001519	-0.51	0.663
x2	-0.0002520	0.0001519	-1.66	0.239
x3	-0.0000170	0.0001519	-0.11	0.921
x1*x2	0.0003343	0.0002279	1.47	0.280
x1*x3	-0.0006101	0.0002279	-2.68	0.116
x2*x3	-0.0005517	0.0002279	-2.42	0.137

S = 0.000246134    R-Sq = 89.0%    R-Sq(adj) = 55.9%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	9.78825E-07	1.63138E-07	2.69	0.295
Residual Error	2	1.21164E-07	6.05820E-08		
Total	8	1.09999E-06			

## LAMPIRAN 12 Alternatif Model Regresi *Setting Time* Awal $\eta_{23}$

### Model Linier

The regression equation is  
 $\text{trans } \eta_{23} = -0.0213 + 0.000156 x_1 + 0.000102 x_2 - 0.000130 x_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0213394	0.0001140	-187.22	0.000
x1	0.0001560	0.0001396	1.12	0.315
x2	0.0001022	0.0001396	0.73	0.497
x3	-0.0001297	0.0001396	-0.93	0.396

S = 0.000341951 R-Sq = 34.6% R-Sq(adj) = 0.0%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	3.09589E-07	1.03196E-07	0.88	0.510
Residual Error	5	5.84651E-07	1.16930E-07		
Total	8	8.94240E-07			

### Model Orde dua Kuadratik

The regression equation is  
 $\text{trans } \eta_{23} = -0.0208 + 0.000156 x_1 + 0.000102 x_2 - 0.000130 x_3 - 0.000105 X_1^2 - 0.000309 X_2^2 - 0.000347 X_3^2$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0208322	0.0002259	-92.20	0.000
x1	0.0001560	0.0001046	1.49	0.274
x2	0.0001022	0.0001046	0.98	0.431
x3	-0.0001297	0.0001046	-1.24	0.341
X1^2	-0.0001052	0.0001812	-0.58	0.620
X2^2	-0.0003091	0.0001812	-1.71	0.230
X3^2	-0.0003465	0.0001812	-1.91	0.196

S = 0.000256197 R-Sq = 85.3% R-Sq(adj) = 41.3%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	7.62965E-07	1.27161E-07	1.94	0.379
Residual Error	2	1.31274E-07	6.56370E-08		
Total	8	8.94240E-07			

## Model Orde Dua Interaksi

The regression equation is  

$$\text{trans } \eta_{23} = -0.0213 - 0.000127 x_1 - 0.000179 x_2 + 0.000066 x_3 + 0.000392 x_1 x_2 - 0.000563 x_1 x_3 - 0.000567 x_2 x_3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0213394	0.0000845	-252.39	0.000
x1	-0.0001273	0.0001566	-0.81	0.502
x2	-0.0001795	0.0001566	-1.15	0.370
x3	0.0000662	0.0001566	0.42	0.714
x1*x2	0.0003917	0.0002348	1.67	0.237
x1*x3	-0.0005634	0.0002348	-2.40	0.139
x2*x3	-0.0005665	0.0002348	-2.41	0.137

S = 0.000253648    R-Sq = 85.6%    R-Sq(adj) = 42.4%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	7.65565E-07	1.27594E-07	1.98	0.373
Residual Error	2	1.28674E-07	6.43371E-08		
Total	8	8.94240E-07			

### LAMPIRAN 13 *Output Uji Glejser Residual Model Setting Time Awal*

#### Regression Analysis: abs RESI tra versus x1, x2, x3, x1^2, x2^2, x3^2

The regression equation is

$$\text{abs RESI trans } \eta_{21} = 0.000074 - 0.000000 \text{ x1} - 0.000000 \text{ x2} - 0.000000 \text{ x3} \\ - 0.000000 \text{ x1}^2 + 0.000000 \text{ x2}^2 - 0.000000 \text{ x3}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.00007427	0.00006997	1.06	0.400
x1	-0.00000000	0.00003239	-0.00	1.000
x2	-0.00000000	0.00003239	-0.00	1.000
x3	-0.00000000	0.00003239	-0.00	1.000
x1^2	-0.00000000	0.00005610	-0.00	1.000
x2^2	0.00000000	0.00005610	0.00	1.000
x3^2	-0.00000000	0.00005610	-0.00	1.000

#### Regression Analysis: abs RESI tra versus x1, x2, x3, x1\*x2, x1\*x3, x2\*x3

The regression equation is

$$\text{abs RESI trans } \eta_{22} = 0.000094 - 0.000069 \text{ x1} - 0.000035 \text{ x2} + 0.000098 \text{ x3} \\ + 0.000156 \text{ x1}^2 - 0.000085 \text{ x1}^3 - 0.000123 \text{ x2}^2 \text{ x3}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.00009445	0.00001955	4.83	0.040
x1	-0.00006874	0.00003619	-1.90	0.198
x2	-0.00003535	0.00003619	-0.98	0.432
x3	0.00009830	0.00003619	2.72	0.113
x1*x2	0.00015613	0.00005429	2.88	0.103
x1*x3	-0.00008530	0.00005429	-1.57	0.257
x2*x3	-0.00012287	0.00005429	-2.26	0.152

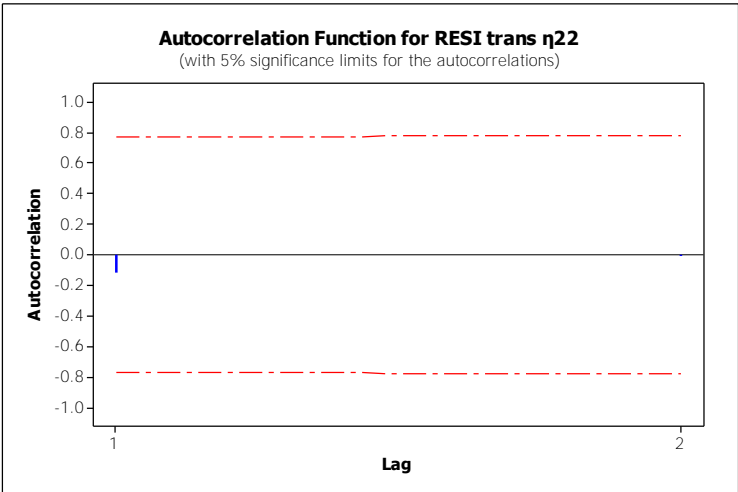
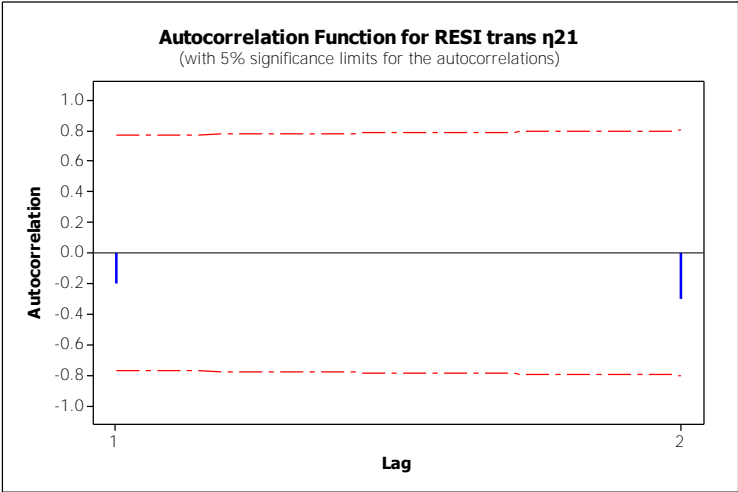
#### Regression Analysis: abs RESI tra versus x1, x2, x3, x1\*x2, x1\*x3, x2\*x3

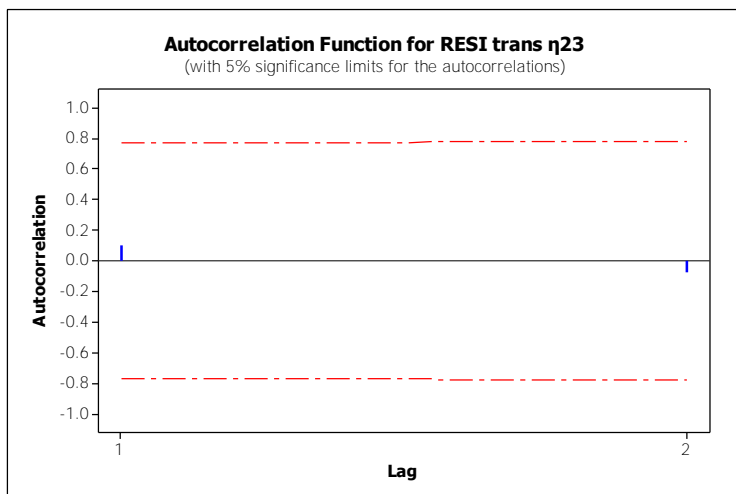
The regression equation is

$$\text{abs RESI trans } \eta_{23} = 0.000092 - 0.000096 \text{ x1} - 0.000020 \text{ x2} + 0.000082 \text{ x3} \\ + 0.000137 \text{ x1}^2 - 0.000067 \text{ x1}^3 - 0.000153 \text{ x2}^2 \text{ x3}$$

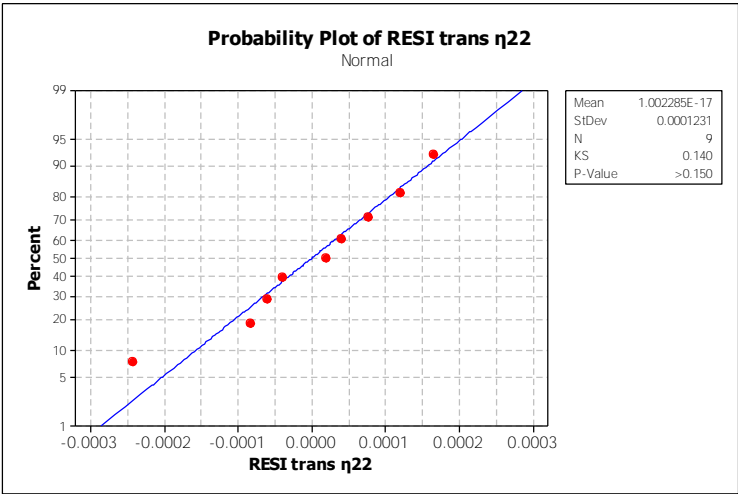
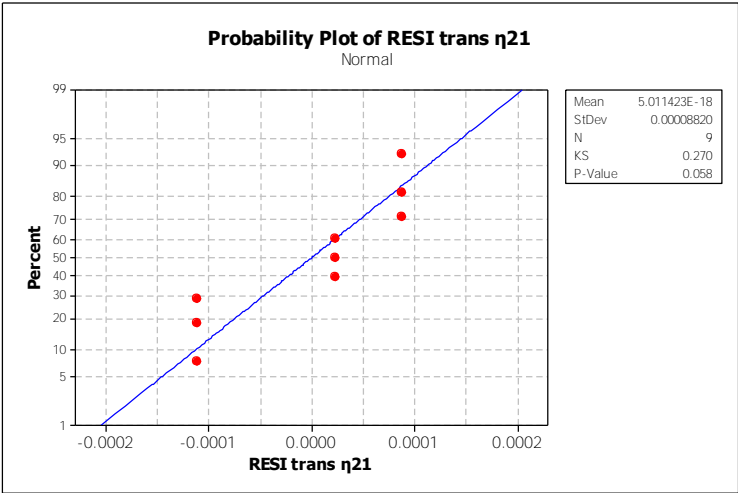
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.00009232	0.00002530	3.65	0.068
x1	-0.00009608	0.00004684	-2.05	0.177
x2	-0.00001956	0.00004684	-0.42	0.717
x3	0.00008218	0.00004684	1.75	0.221
x1*x2	0.00013696	0.00007026	1.95	0.191
x1*x3	-0.00006651	0.00007026	-0.95	0.444
x2*x3	-0.00015260	0.00007026	-2.17	0.162

**LAMPIRAN 14** *Output Autocorrelation Function Residual Model Setting Time Awal*

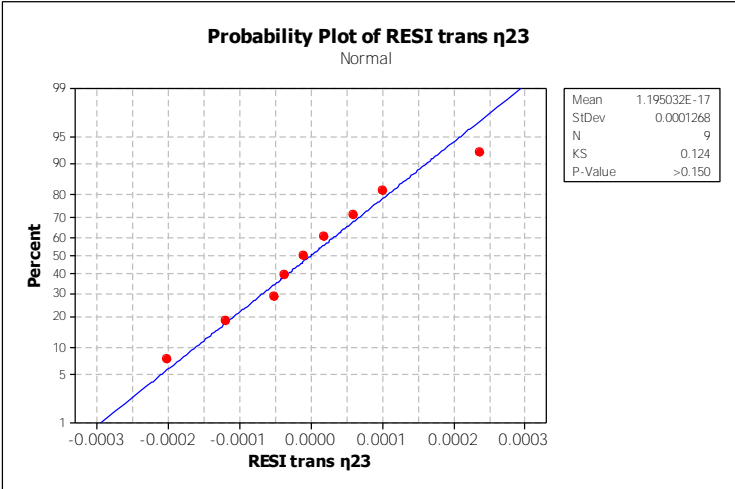




**LAMPIRAN 15** *Output* Pengujian Distribusi Normal Residual  
Model *Setting Time Awal*








### LAMPIRAN 16 *Output Linear Programming*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		Model	a				Model	b				Model	c		
2		Target	1.08333333				Target	0.55				Target	0.7244094		
3		x1	-0.39067				x1	-0.525224				x1	0.1305491		
4		x2	-0.5544873				x2	-1.471828				x2	-0.3711465		
5		x3	-0.5187504				x3	0.5819259				x3	-0.3461008		
6		v1	1.16666667				v1	0.1				v1	0.4488189		
7		v2	1				v2	1				v2	1		
8		S1	1.16666667				S1	0.6972874				S1	0.4488189		
9		S2	4.95766189				S2	0.1				S2	0.5098209		
10		T1	1				T1	1				T1	1		
11		T2	1				T2	1				T2	1		
12		d1	0				d1	0.3275587				d1	1		
13		d2	0.69576619				d2	1				d2	0.9058925		
14		D1	1.3740857				D1	2.098				D1	1.2977385		
15		D2	4.6544E-05				D2	-0.000131				D2	6.022E-05		
16		Y1	49.6920991				Y1	50.655117				Y1	52.153969		
17		Y2	-0.0213629				Y2	-0.020317				Y2	-0.0211192		
18															
19		konstrain	-2.8	lebih bes	-2.8		konstrain	0.2375587	lebih besar	-0.3		konstrain	0.43	lebih besa	0.43
20		konstrain	0.57909952	lebih bes	0.2		konstrain	0.9	lebih besar	0.9		konstrain	0.6366012	lebih besa	0.6
21		konstrain	1.6360857	lebih kec	2.36		konstrain	2.36	lebih kecil s	2.36		konstrain	1.5597385	lebih kecil	2.36
22		konstrain	0.00046654	lebih kec	0.00018		konstrain	-0.000551	lebih kecil s	0.00018		konstrain	-0.0003598	lebih kecil	0.00018
23															
24		composite desirability					composite desirability					composite desirability			
25		0					0.57233					0.95178			

## LAMPIRAN 17 Surat Pengambilan Data Perusahaan PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**JURUSAN STATISTIKA**  
 Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111  
 Telp. : 031-594 3352, 031-599 4251-55 Fax. : 031-592 2940 PABX: 1213, 1214  
<http://www.statistika.its.ac.id>

---

Nomor : 066962/IT2.1.1.3/TU.00.09/2016  
 Perihal : Permohonan ijin memperoleh data untuk Tugas Akhir

Yth : Kabiro Pusat Pembelajaran  
 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.  
 Desa SumberArum, Kecamatan Kerek.  
 Tuban.

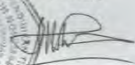
Dalam rangka menyelesaikan studi di Jurusan Statistika FMIPA - ITS, mahasiswa diwajibkan untuk melakukan Tugas Akhir (TA). Sehubungan dengan hal tersebut, kami mohon bantuan kepada Kabiro Pusat Pembelajaran PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, agar mahasiswa berikut :

Nama : Rukmi Farida  
 NRP : 1313100106  
 Program Studi : Sarjana (S1)  
 Jurusan : Statistika FMIPA

diperkenankan memperoleh data, untuk keperluan pelaksanaan TA di Instansi yang Bapak/Ibu pimpin. Adapun judul Tugas Akhir mahasiswa tersebut adalah : "Optimasi Karakteristik Kualitas Semen PPC Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan Fungsi Desirability Regresi Fuzzy di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk". Adapun pelaksanaan dari kegiatan pengambilan data diperkirakan pada tanggal 01 November 2016 s.d 30 November 2016.

Demikian atas ijin yang diberikan disampaikan terima kasih.

31 Oktober 2016  
 Ketua Jurusan,



Dr. Suhartono  
 NIP. 19710929 199512 1 001

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Rukmi Farida biasa dipanggil Rukmi lahir di Blitar pada tanggal 28 Juli 1995. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara, dari pasangan Bambang Tri Aji dan Wartini. Penulis telah menempuh pendidikan dari TK – SMA dari tahun 1999 – 2013. Setelah lulus dari SMAN 1 Blitar tahun 2013, penulis melanjutkan studi di Jurusan Statistika ITS melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa ITS, penulis aktif dalam organisasi yakni berkontribusi di Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMASTA-ITS 2014/2015 staf. Pada tahun ketiga penulis juga berkontribusi di Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMASTA-ITS 2015/2016 sebagai Ketua departemen. Saat ini penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Optimasi Karakteristik Kualitas *Portland Pozzoland Cement* Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan Fungsi *Desirability* Regresi *Fuzzy*”. Demikian biodata penulis yang dapat disampaikan. Segala bentuk saran dan kritik yang membangun, serta apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, maka pembaca dapat menghubungi penulis dengan mengirimkan email ke [rukmiif@gmail.com](mailto:rukmiif@gmail.com).